



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Yeimer Andrés Sanclemente Agualimpia

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Fisiología
Bogotá, Colombia
2016

Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Yeimer Andrés Sanclemente Agualimpia

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Fisiología

Director

Juan Carlos Giraldo García

Docente Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid

Codirector

Jairo Alberto Zuluaga Gómez

Docente Universidad Nacional de Colombia

Línea de Investigación:

Fisiología del Ejercicio

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento de Fisiología

Bogotá, Colombia

2016

Dedicatoria:

A mi familia, por su formación, paciencia, cariño y apoyo incondicional.

Agradecimientos

Quiero agradecer de forma muy especial a todas las personas que estuvieron involucradas en el desarrollo de esta investigación, este proyecto es el resultado de un arduo y excelente trabajo grupal, a cada uno de ellos, mil gracias.

Mis más sinceros agradecimientos al Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, que me brindó la oportunidad de crecer académicamente en la Maestría en Fisiología del Ejercicio. Agradezco la contribución económica que realizó esta universidad para la investigación. También quiero reconocer la excelente atención de:

- Luz Gladys Tamayo Jaramillo, Vicerrectora de Docencia e Investigación.
- Diana Rocío Ramírez Aguirre, Vicerrectora de Extensión.
- Leonardo Fabio Galindo López, Director de Investigación y Posgrados.
- Elkin Rodrigo Goez Giraldo, Profesional especializado.
- Juan Fernando Ruiz Ramírez, Decano Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte.
- Juan Carlos Giraldo García, Docente asesor.
- Elkin Eduardo Roldan Aguilar, Docente.
- Christian Camilo Marín, Estudiantes en formación.
- Oscar Medina Rodríguez, Estudiantes en formación.
- María Camila Cruz, Estudiantes en formación.

Asimismo, debo agradecer a la Liga de Natación de Antioquia por su importante participación en este estudio, gracias a ellos tuvimos acceso a las instalaciones deportivas y a los nadadores. Reconozco la amplia disposición de las directivas y los entrenadores, especialmente de:

- Javier Ignacio Gómez Restrepo, Gerente.
- José Neber Arias Méndez, Entrenador.
- Cesar Arnulfo Delgado Alarcón, entrenador.
- Nadadores.

Mil gracias a los profesores Elkin Arango, Hugo Grisales y Alba León de la Universidad de Antioquia por colaborar en el análisis estadístico de esta investigación.

También, quiero agradecer a las directivas, los docentes y los compañeros de la Universidad Nacional por acogerme con tanta hospitalidad, esta experiencia me brindo elementos importantes para mi vida personal y profesional.

Resumen

Título: Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Objetivo general: Determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Metodología: Este estudio es cuasi-experimental, en el cual participaron 15 hombres nadadores que se distribuyeron en 2 grupos (grupo tratamiento (n=10); grupo control (n=5), esta distribución fue por orden de llegada de los nadadores. Después de realizar el protocolo excéntrico (2 series de 10 repeticiones excéntricas en la máquina de extensión de rodilla al 100% de 1RM excéntrica con un minuto de descanso entre series), el grupo de tratamiento realizó 15 minutos de inmersión en agua fría a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. En cambio, el grupo control tuvo una recuperación de 15 minutos de inmersión en agua termoneutra a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (placebo). En ambos grupos se realizó el seguimiento de las variables (CK, LDH, salto vertical, potencia y percepción del dolor) en las 24, 48 y 72 horas posteriores a la intervención.

Resultados: El análisis intergrupar indica que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en las variables de CK, LDH, escala del dolor y potencia, solo la variable de salto vertical presentó diferencias estadísticamente significativas a las 24 y 72 horas. Los resultados del estudio indican que la inmersión en agua fría no tiene efectos estadísticamente significativos en la reducción de los marcadores de daño muscular (CK; LDH) en el grupo intervenido.

Palabras clave: inmersión en agua fría, daño muscular, ejercicio excéntrico.

Abstract

Title: Effect of immersion in cold water on markers of muscle damage (CK, LDH) induced by eccentric exercise in swimmers of Medellin.

Objective: To determine the effect of immersion in cold water on markers of muscle damage (CK, LDH) induced by eccentric exercise in swimmers of Medellin.

Methodology: This study is quasi-experimental, in which 15 swimmers men who were divided into two groups (treatment group (n = 10) participated; control group (n = 5), this distribution was in order of arrival of the swimmers. after performing the eccentric protocol (two sets of 10 eccentric repetitions on the machine knee extension at 100% of 1RM eccentric with a minute of between sets), the treatment group performed 15 minutes of immersion in cold water at $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. in contrast, the control group had a 15 minute recovery thermoneutral water immersion at $32^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (placebo). in both groups monitoring variables (CK performed, LDH, vertical jump, power and perception of pain) in 24, 48 and 72 hours after surgery.

Results: The inter-group analysis indicated no statistically significant differences ($P > 0.05$) in the variables of CK, LDH, pain scale and power only variable vertical jump showed statistically significant at 24 and 72 hours difference. The study results indicate that immersion in cold water has no statistically significant effect on reducing markers of muscle damage (CK, LDH) in the intervention group.

Keywords: immersion in cold water, muscle damage, eccentric exercise.

Contenido

Resumen.....	V
Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	X
Introducción.....	1
1. Marcos de Referencia.....	2
1.1. Ejercicio excéntrico.....	2
1.2. Dolor muscular tardío.....	4
1.3. Marcadores de daño muscular.....	4
1.4. Teorías del dolor muscular tardío.....	5
1.5. Mecanismo global del dolor muscular tardío.....	8
1.6. Repercusiones del dolor muscular tardío.....	8
1.7. Prevención del dolor muscular tardío.....	9
1.8. Tratamientos para el dolor muscular tardío.....	9
2. Planteamiento del problema.....	14
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos específicos.....	17
4. Hipótesis.....	18
5. Metodología.....	19
5.1. Diseño del estudio.....	19
5.2. Población del estudio.....	19
5.3. Criterios de inclusión.....	19
5.4. Criterio de exclusión.....	19
5.5. Método de muestreo.....	19
5.6. Variables del estudio.....	20
5.7. Análisis estadístico.....	20
5.8. Métodos de recogida de datos.....	20
5.9. Intervención.....	23
5.10. Control de sesgos.....	24
5.11. Consideraciones éticas de los participantes.....	26
6. Resultados.....	31
6.1. Creatinquinasa.....	33
6.2. Lactato deshidrogenasa.....	34
6.3. Salto vertical.....	35
6.4. Potencia.....	36

6.5. Escala Análoga del dolor.....	36
7. Discusión.....	37
7.1. Limitaciones.....	42
7.2. Conclusiones.....	42
Anexos.....	44
Datos estadísticos.....	44
Consentimiento informado.....	47
Cuestionario internacional de actividad física.....	49
Formato de recolección de datos.....	51
Bibliografía.....	54

Lista de figuras

Figura 1. Técnica del salto vertical.....	21
Figura 2. Diagrama de flujo sobre la selección y distribución de los sujetos.....	31
Figura 3. CK.....	33
Figura 4. LDH.....	34
Figura 5. Salto vertical.....	35
Figura 6. Potencia.....	36

Lista de tablas

Tabla 1. Escala Análoga visual del Dolor.....	23
Tabla 2. Secuencia de intervención.....	24
Tabla 3. Característica de los participantes.....	32
Tabla 4. Marcadores de daño muscular antes y 5 minutos después.....	32

Introducción

El dolor muscular tardío (Delayed onset muscle soreness- DOMS) es un malestar que se presenta 24 a 72 horas en personas que no están acostumbradas a realizar ejercicio excéntrico (descargar peso de forma controlada, correr colina abajo, saltos, etc.) (Chicharro, 2007), también se manifiesta en deportistas de nivel recreativo y elite que están desacostumbrados a las cargas excéntricas. Este tipo de dolor es causado por un daño muscular que se hace evidente cuando aumenta la concentración de enzimas y proteínas musculares (Creatinquinasa, lactato deshidrogenasa, mioglobina, etc.) en sangre, ya que en condiciones normales estas enzimas y proteínas no pueden atravesar el sarcolema debido a su tamaño. Su aparición en sangre se debe a una ruptura de la membrana muscular (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003). El dolor muscular tardío está acompañado de una serie de signos y síntomas tales como la disminución del rango de movimiento articular, inflamación, rigidez y pérdida de la fuerza, especialmente en las fibras de contracción rápida. (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, 2007).

En un intento por minimizar los síntomas y signos de este dolor, los deportistas, entrenadores y profesionales de la salud han recurrido a una variedad de terapias físicas como la crioterapia, el masaje, la técnica de ultrasonido y la terapia de corriente eléctrica (Connlly, Sayers, & McHugh, 2003) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003). En el campo de la medicina deportiva se ha utilizado mucho la crioterapia en la modalidad de inmersión en agua fría, este tipo de terapias se usa con la intención de reducir la temperatura del tejido lesionado, así mismo generar una constricción de los vasos sanguíneos locales, para buscar una reducción de las respuestas inflamatorias y generar un bloqueo transitorio de las señales de dolor, dando como resultado un efecto analgésico (Plaja, 2003) (Garcés & Calvo, 2003) (Becker, Schewe, & Heipertz, 2005).

Versey, Halson, y Dawson aseguran que varias investigaciones han informado que la inmersión en agua fría puede mejorar la recuperación del rendimiento físico en diferentes modalidades deportivas. Estos autores plantean que la inmersión en agua a 10-15 °C durante 5-15 minutos parecer ser el esquema de tratamiento más efectivo para la recuperación del atleta.

Por tal motivo este estudio utilizó 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C \pm 1 °C (Versey, Halson, & Dawson, 2013), esto con el objetivo de determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

1. Marcos de referencia

1.1. Ejercicio excéntrico

Antes de exponer el concepto de ejercicio excéntrico es importante conocer la noción de fuerza desde diferentes perspectivas como la física, la muscular y la fisiológica. El concepto de fuerza en física es proporcionar movimiento a un objeto inmóvil, además de poder acelerar o detener un objeto en movimiento, o modificar la dirección en la que se mueve, en pocas palabras una fuerza es algo que puede variar el estado de movimiento de un cuerpo (Wilson & J. Buffa, 2003). La fuerza muscular es la capacidad del sistema músculo-esquelético para deformar un objeto o cambiar la aceleración del objeto, en la cual se inicia o detiene el movimiento del objeto. Dicha fuerza también tiene la capacidad de aumentar o reducir la velocidad o modificar la dirección del objeto (Badillo & Serna, 2002). En cambio desde el campo fisiológico, la fuerza es la capacidad de producir tensión de un músculo al activarse, esta fuerza muscular está determinada por condiciones anatómicas como la cantidad de puentes cruzados de miosina que se unen a la actina, la cantidad de sarcómeros en paralelo, la fuerza que una fibra muscular puede realizar por unidad de sección transversal, longitud tanto de la fibra como del músculo y finalmente el tipo de fibra. Otro condicionante de la fuerza es de tipo neural, el cual incluye la cantidad de unidades motoras utilizadas, el número de frecuencias de activación de las motoneuronas y sus respectivas fibras, la cantidad de sarcómeros que se estimulan, la activación e inhibición neuromuscular y la cantidad de calcio en el músculo, estos son los determinantes de la fuerza muscular (Chicharro, 2007).

Como se mencionó anteriormente la fuerza muscular es la capacidad de producir tensión al momento de activarse, este evento ocurre cuando el músculo recibe un impulso de carácter eléctrico que da inicio al desplazamiento y unión de los filamentos de actina y miosina, lo cual provocará un acortamiento de la unidad básica del músculo (el sarcómero) y el estiramiento del tendón. Este fenómeno de activación está presente tanto en la contracción del músculo como en los estiramientos del mismo. Dependiendo de los movimientos ejecutados voluntariamente y las resistencias externas, se presentan tres activaciones musculares diferentes que son: concéntrica, excéntrica e isométrica (Brown, 2008).

- Concéntrica: los músculos generan más fuerza que la resistencia (objeto externo) a mover, los músculos activados se contraen para generar fuerza.

- Excéntrica: cuando la resistencia es mayor que la fuerza que produce el músculo y la resistencia se baja de forma controlada, los músculos que participan se elongan al momento de producir la fuerza.
- Isométrico: cuando la articulación esta inmóvil pero el músculo se activa y produce fuerza, en otras palabras la fuerza que se desarrolla es la misma que la resistencia (Brown, 2008).

En este momento empezaremos a profundizar sobre las características del ejercicio excéntrico, este tipo de activación muscular se puede ejecutar por medio de ejercicios isotónicos o isocinéticos. Como se mencionó anteriormente en los ejercicios excéntricos, hay una activación que genera tensión y elongación muscular ante fuerzas externas (Kisner & Colby, 2005). Este fenómeno muscular es conocido como trabajo negativo, en donde la musculatura cede de forma controlada y/o frenada ante una carga externa que va a favor de la dirección del movimiento ante los efectos de la fuerza de la gravedad (Barbany, 2002) (Badillo & Serna, 2002) (Siff & Verkhoshansky, 2004).

Las activaciones excéntricas tiene dos características, la primera es que el músculo puede disipar la energía absorbida en forma de calor, además el músculo funciona como un amortiguador, el cual disminuye la energía cinética por medio del frenado, y segundo, diferente a lo anterior, la energía absorbida en la elongación tanto del músculo como del tendón genera energía potencial elástica que posteriormente es usada, dándole al músculo una propiedad elástica que se compara a un resorte, debido a que un elemento elástico es estirado, busca retornar a su estado inicial, generando una fuerza (Bueno & Porqueres, 2008). Esta propiedad elástica del músculo está determinada por el tiempo, es decir, en función del tiempo la elasticidad muscular puede absorber energía para luego disipar en forma de calor o utilizar esta energía potencial elástica en la realización de movimientos (Lindstedt, LaStayo, & Reich, 2001).

Es importante recordar que anteriormente se le atribuía la propiedad elástica del músculo al colágeno y los tendones, es decir, estructuras ajenas de la fibra muscular, pero la evidencia científica sugiere que la proteína titina de músculo puede contribuir de manera importante a la elasticidad del músculo. Es interesante saber que en la ejecución de actividades excéntricas se gaste menos energía que las activaciones concéntrica e isométricas (Lindstedt, LaStayo, & Reich, 2001), esto debido a que la captación de oxígeno es inferior (Gowitzke & Milner, 2008). Aunque este tipo de activación muscular gasté menos energía, es la que produce mayor fuerza al generar mayor tensión. Los músculos sometidos a un programa de entrenamiento con enfoque excéntrico obtienen altas ganancias en fuerza y tamaño muscular. Por este motivo se emplean frecuentemente los ejercicios

excéntricos en el ámbito deportivo y clínico (rehabilitación) (Lindstedt, LaStayo, & Reich, 2001). Las personas que no están acostumbradas a este tipo de ejercicio o los deportistas que lo ejecutan en intensidades muy altas pueden experimentar dolor muscular tardío que generalmente ocurre varias horas después de la sesión de entrenamiento. Para este estudio los participantes realizaron 2 series de 10 repeticiones excéntricas en la máquina de extensión de rodilla al 100% de 1RM excéntrica con un minuto de descanso entre series. Dos voluntarios hicieron la fase concéntrica del movimiento (Neme, Nunes, Brenzikofer, & Macedo, 2013).

1.2. Dolor muscular tardío

Como se mencionó en el fragmento anterior, las personas que no están acostumbradas al ejercicio excéntrico, pueden experimentar dolor muscular tardío (Delayed onset muscle soreness- DOMS) que se presenta en un periodo de 24 a 72 horas, también se manifiesta en deportistas de nivel recreativo y elite que están desacostumbrados a las cargas excéntricas, esto se debe al inicio de una nueva fase del rendimiento deportivo (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial, 2007). Este tipo de dolor puede estar acompañado de disminución del rango de movimiento articular, tumefacción, rigidez y pérdida de la fuerza. Aunque el DOMS no se presenta en situación de reposo ni durante el sueño, si puede disminuir la funcionalidad muscular en actividades cotidianas y reducir el rendimiento físico del deportista (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003) (Connlly, Sayers, & McHugh, 2003) (Chicharro, 2007).

Para conocer la percepción de dolor en los participantes de este estudio, se utilizó una escala análoga visual que está enumerada de 0 a 10 puntos (0 = sin dolor, 1-3 = dolor débil, 4-6 = dolor moderado, 7-9 = dolor severo y 10 = la intensidad del dolor es insoportable). El test se hizo antes de la intervención con ejercicio excéntrico y posteriormente a las 24, 48 y 72 horas (Santos, y otros, 2012) (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, 2007).

1.3. Marcadores de daño muscular

El ejercicio intenso, prolongado o desacostumbrado puede causar daños en el tejido muscular como consecuencia de factores metabólicos y mecánicos. Los niveles séricos de enzimas del músculo esquelético o proteínas son analizadas como marcadores indirectos del estado funcional del tejido muscular, dichas proteínas varían enormemente ante condiciones fisiológicas y patológicas. Los

marcadores más utilizados para analizar la lesión muscular son: creatinquinasa (CK), lactato deshidrogenasa (LDH), mioglobina, aldolasa, troponina y aspartato aminotransferasa. Cada marcador muestra el estado o condición del músculo, por tal motivo se recomienda analizar más de un marcador para tener una mejor estimación (Brancaccio, Lippi, & Maffulli, 2010). Para esta investigación se analizó creatinquinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH), ya que son los marcadores más comunes en este tipo de estudios.

Pero ¿En cuánto tiempo permanecen los marcadores en sangre? En el estudio *Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon* se analizaron los marcadores de 22 maratonistas que participaron en una carrera montañosa de 166 kilómetros con predominio de cuestas a bajo, es decir, con un alto contenido excéntrico. Las muestras de sangre se analizaron antes, inmediatamente después y 2, 5, 7, 9 y 16 días después de la maratón. Los investigadores encontraron que los marcadores se incrementaron notablemente luego de la maratón, pero a los 5 días después volvieron a los valores basales (Millet, y otros, 2011). Otra investigación llamada *Changes in running economy following downhill running*, se estudiaron a 10 futbolistas para analizar el daño muscular luego de una carrera cuesta abajo, aquí se tuvo en cuenta la creatinquinasa (CK) y otros marcadores. Las extracciones de sangre se realizaron antes y una hora después de la carrera, además de los cinco días siguientes. Se determinó que los marcadores alcanzaron su pico máximo 48 horas después del ejercicio, pero los 5 días posteriores del ejercicio los niveles de los marcadores de daño muscular en sangre volvieron a valores basales (Chen, Nosaka, & Tu, 2007).

Teniendo en cuenta lo anterior, para este estudio se realizaron extracciones de sangre antes de la intervención con ejercicio excéntrico, cinco minutos después de la recuperación y posteriormente a las 24, 48 y 72 horas, esto con el fin de determinar la cantidad de creatinquinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) que se encuentra en sangre como respuesta al daño muscular. Para el tiempo de las extracciones de sangre fue necesario basarse en una investigación donde analizaron los marcadores después de la crioterapia en deportistas de jiu-jitsu (Júnior, Brito, Santos, Valido, Mendes, & Franchini, 2014).

1.4. Teorías del dolor muscular tardío

Aún no se conocen los mecanismos responsables del DOMS, sí se han generados varias teorías que intentan de algún modo explicar este fenómeno, estas teorías son las siguientes: teoría del ácido láctico, teoría mecánica, teoría inflamatoria y teoría neurogénica (Chicharro, 2007).

1.4.1. Teoría del ácido láctico

Las posibilidades de sufrir DOMS aumenta con relación a la intensidad del ejercicio, debido a que las actividades de alta intensidad se relaciona con mayores niveles de lactato, anteriormente algunos autores aceptaban la teoría metabólica (teoría del ácido láctico) como una explicación convincente sobre la causa del DOMS, dicha teoría asociaba la producción de lactato con el DOMS. Sin embargo, esta explicación no estaba respaldada por ninguna base científica que demostrara que el lactato que se generaba durante actividades de alta intensidad, se acumula en los músculos ejercitados (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003), donde el lactato concentrado era “cristalizado” horas después, dicho argumento no tiene ninguna base científica que demuestre que el lactato puede cristalizarse en tejidos humanos. No obstante se pueden generar cantidades considerables de lactato durante el ejercicio de alta intensidad, pero aproximadamente el 80% del lactato que se ha generado se almacena en el interior de las fibras musculares, además sólo el 20% se transfiere al espacio extracelular. Gracias a las publicaciones de Rodolfo Margaría se pudo determinar que el lactato que pasa a la sangre es eliminado minutos después del ejercicio, este proceso se completa aproximadamente en 1 hora (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003). Investigaciones recientes en la que emplearon isótopos estables demostraron que la mayor parte del lactato generado en el transcurso del ejercicio es eliminado por oxidación, mientras que la parte restante (de 10 a 20%) puede ser empleada como sustrato para resintetizar glucógeno muscular para el músculo que produjo lactato. Por tal motivo, no se encuentra hasta el momento estudios que sustente la teoría metabólica como causa que explica el DOMS por la “cristalización” del lactato (Chicharro, 2007).

1.4.2. Teoría mecánica

Gracias a numerosos estudios se han demostrado que el DOMS se presenta fácilmente en ejercicios excéntricos, como ejemplo de este tipo de ejercicio esta correr cuesta abajo o realizar ejercicios pliométricos, dichas acciones favorecen la aparición del DOMS. Es importante recordar que las acciones excéntricas tienen un gasto energético menor respecto a las acciones concéntricas e isométricas, pero su producción de fuerza es notablemente mayor. Cuando una persona no entrenada realiza ejercicio excéntrico presenta ruptura de las estructuras musculares. Dicho evento genera un daño muscular que se hace evidente cuando aumenta la concentración de enzimas y proteínas musculares (mioglobina, creatinquinasa, lactato deshidrogenasa, Troponina I, etc.) en sangre, debido a que estas enzimas y proteínas no pueden atravesar el sarcolema debido a su tamaño.

Su aparición en sangre se debe a una ruptura de la membrana muscular, un claro ejemplo de esto es cuando una persona que padece de DOMS puede tener un aumento de 2 a 10 veces de los niveles de la creatinquinasa en sangre, que se relaciona con el grado de dolor muscular tardío (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003).

Por medio de evidencia científica se ha podido determinar las modificaciones musculares que presentan este tipo de dolor, tales modificaciones incluye ruptura de la membrana muscular, modificación de la disposición paralela de las miofibrillas, ruptura de las líneas o discos Z, algunas fibras muestran un desplazamiento de la banda A fuera del área central del sarcómero, edema o tumefacción de fibras musculares. También hay daño de otras estructuras como los nociceptores del tejido conectivo del músculo, arteriolas, capilares y la unión músculo-tendinosa, son estimulados por el ejercicio excéntrico provocando la sensación de dolor (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003).

Estos cambios musculares se deben a la ruptura del citoesqueleto de la fibra muscular, que daña a los filamentos de desmina y a las proteínas titina, nebulina y alfa-actinina. Igualmente se ha visto afectado los costámeros con reducción del número de moléculas distrofina días después de hacer ejercicio excéntrico. Los costámeros hacen parte de la línea de transferencia de la tensión. Están compuestas por diversas proteínas que se encuentran en el sarcolema, proporciona puntos de anclaje para el tejido conjuntivo y el citoesqueleto que envuelve las fibras musculares. El ejercicio excéntrico puede generar cambios estructurales en el músculo, según algunos autores esta remodelación muscular permitirá una adaptación de las actividades excéntricas (Chicharro, 2007).

1.4.3. Teoría inflamatoria

De uno a tres días después del ejercicio excéntrico se desarrolla un proceso inflamatorio. Sin embargo, las lesiones o modificaciones estructurales del sarcolema de las fibras musculares ejercitadas ocurren al finalizar el ejercicio excéntrico, aunque las molestias se manifiestan durante las 24 a 48 horas después. La molestia del daño muscular sea vinculada con una respuesta inflamatoria en la zona estimulada con ejercicio excéntrico, particularmente con personas desentrenadas. En un periodo de 24 a 48 horas después del estímulo excéntrico se genera una movilización de células inflamatorias (leucocitos, linfocitos y citoquinas) hacia el sitio de la lesión muscular (Malm, y otros, 2004). La liberación de sustancias propias de las fibras musculares lesionadas y/o las células inflamatorias pueden influir sobre los nociceptores musculares o

terminaciones nerviosas que pueden causar dolor (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003) (Chicharro, 2007).

1.4.4. Teoría neurológica

La inhibición del dolor muscular por un bloqueo selectivo de las fibras nerviosas mielínicas de gran diámetro, es el argumento que respalda esta teoría. Dichas fibras nerviosas llevan información propioceptiva producida por los mecanorreceptores del músculo, que van dirigidas hacia el sistema nervioso central. Se plantea que cuando un individuo padece de DOMS presenta una dificultad del sistema nervioso central para reconocer sensaciones, es decir, que las señales mecánicas que no son dolorosas, son enviadas por las fibras mielínicas de gran diámetro, reconociéndolas como sensaciones dolorosas (Chicharro, 2007).

1.5. Mecanismo global del dolor muscular tardío

Cuando un individuo desentrenado realiza ejercicio excéntrico de manera repetitiva, puede causar un daño muscular de las estructuras de las fibras musculares y tejido conjuntivo muscular. Esta lesión ocurre debido al gran nivel de demanda mecánica que supera la capacidad muscular, generando la ruptura de las fibras musculares que conlleva a la liberación de sus sustancias que posteriormente atraen las células inflamatorias en el proceso de remodelación muscular. Las células inflamatorias o las sustancias liberadas por el mismo músculo lesionado pueden actuar sobre los nociceptores musculares que podrían causar DOMS (Chicharro, 2007) (Brown, 2008).

1.6. Repercusiones del dolor muscular tardío

El DOMS está acompañado de una serie de signos y síntomas tales como la disminución de rango de movimiento articular, inflamación, rigidez y pérdida de la fuerza. Algunas fibras musculares lesionadas pueden experimentar rigidez como causa del aumento de la concentración intracelular de calcio. Dicha rigidez también puede estar causada por un componente neural como reflejo ante el dolor (Chicharro, 2007) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003).

Las lesiones presentadas en el sarcómero, especialmente de las estructuras encargadas de transmitir la tensión, pueden ser responsables de la pérdida o

disminución de la fuerza. Esta pérdida de la fuerza se atenúa más en las fibras de contracción rápida. El control del movimiento se puede ver afectado por la pérdida de fuerza, luego de la ejecución de ejercicios excéntricos se presenta el déficit de activación, también se puede reducir la activación de las motoneuronas alfa y reducción de la intensidad de la señal de salida corticoespinal tales como a nivel supraespinal como espinal, debido al dolor muscular causado por células inflamatorias durante y/o después del ejercicio excéntrico. Tanto la fuerza isométrica como la dinámica se pueden ver afectas por la disminución de la fuerza provocada por el DOMS, esto afecta en gran parte la coordinación motora (Lindstedt, LaStayo, & Reich, 2001) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003) (Chicharro, 2007). Además el rendimiento físico en actividades con predominio de la resistencia aeróbicas también se ve alterado por las lesiones musculares. Vale la pena mencionar que la resíntesis del glucógeno muscular es más lento en los músculos que presentan DOMS (Chicharro, 2007).

1.7. Prevención del dolor muscular tardío

Una forma adecuada para prevenir el DOMS es dosificando correctamente las cargas del ejercicio a la capacidad del individuo, además prevenir cambios exagerados en el volumen, la intensidad, el tipo de ejercicio y el tiempo de recuperación entre series. También vale la pena mencionar que el mismo ejercicio excéntrico causante de la lesión puede ser utilizado como medida de prevención para el DOMS, pues una previa estimulación del músculo con este tipo de ejercicio puede generar adaptaciones que pueden durar entre 6 y 10 semanas, reduciendo los síntomas de la lesión, la pérdida de fuerza y el dolor muscular. Aun no se conoce el mecanismo protector de una sesión de actividad excéntrica, sea encontrado por medio de investigación que la amlodipina reduce el daño muscular generado por el ejercicio excéntrico. La administración de analgésicos antes y/o después del entrenamiento excéntrico no presenta ningún efecto en la aparición o recuperación del daño muscular (Chicharro, 2007).

1.8. Tratamientos para el dolor muscular tardío

En un intento por minimizar los síntomas y signos de este dolor, los deportistas, entrenadores y profesionales de la salud han recurrido a una variedad de terapias físicas como la crioterapia, el masaje, la técnica de ultrasonido y la terapia de corriente eléctrica, además de las terapias no físicas como los medicamentos antiinflamatorios y las estrategias nutricionales (Connlly, Sayers, & McHugh,

2003) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003) (Chicharro, 2007). Las investigaciones realizadas hasta el momento han mostrado resultados contradictorios sobre los diferentes tratamientos para el DOMS, la mayoría con pocos efectos analgésicos y mínimos efectos sobre la fuerza, la movilidad articular y los niveles de creatinquinasa (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial, 2007).

1.8.1. Crioterapia

La crioterapia es utilizada con mucha frecuencia para manejar lesiones como el DOMS, este tipo de tratamiento es un recurso económico y accesible para el manejo de lesiones deportivas, especialmente los traumatismos musculares. Este tipo de terapias se usa con la intención de reducir la temperatura del tejido lesionado, así mismo generar una constricción de los vasos sanguíneos locales, para buscar una reducción de la respuestas inflamatorias y generar un bloqueo transitorio de las señales de dolor, dando como resultado un efecto analgésico (Plaja, 2003) (Garcés & Calvo, 2003) (Becker, Schewe, & Heipertz, 2005).

En este apartado se profundizara sobre el mecanismo de acción de la crioterapia en el ser humano, dando un repaso desde la transferencia de temperatura hasta los cambios fisiológicos en condiciones de frío, además de mencionar los riesgos y precauciones que se deben tener a la hora de implementar este tipo de terapia.

Antes que nada es importante conocer la forma en que se transfiere la temperatura, especialmente el frío, el cual se da por medio de la conducción y la convección, el primero se da por contacto directo con la piel con un sólido o una bolsa con gel o líquido. En la convección, la transferencia de frío puede darse por corriente de líquido o de aire (Plaja, 2003). Según Plaja los efectos del enfriamiento dependen de lo siguiente:

- La diferencia entre la temperatura del cuerpo y la del objeto.
 - El tipo de objeto frío utilizado, ya que el hielo es más efectivo que el agua fría.
 - La conductividad térmica de los tejidos, es decir, la facilidad con que conduce determinada temperatura, en este caso el frío. El enfriamiento será más rápido si el tejido tiene alta conductividad para el frío, por ejemplo, para un mismo objeto y temperatura, los tejidos que más rápido se enfriaran serán los músculos que los huesos y la grasa.
-

- Cuando se aplica frío se genera una vasoconstricción, disminuyendo la circulación para aumentar el enfriamiento, si el enfriamiento es muy prolongado o intenso, empieza a actuar un mecanismo de defensa vascular, con vasodilataciones intermitentes para evitar la congelación de los tejidos.
- La duración del enfriamiento, el enfriamiento es más lento en tejidos profundos que en tejidos superficiales como la piel, en un periodo de 5 a 10 minutos la piel experimenta las siguientes sensaciones: frío, picazón, quemazón o dolor, y por último hipoestesia y entumecimiento.

Para conocer su relevancia es fundamental entender los cambios fisiológicos en el ser humano ante condiciones de frío. Cuando una persona se expone a un ambiente frío, el cuerpo reacciona con una constricción de los vasos sanguíneos superficiales de la zona expuesta, esto genera una reducción en la circulación y del flujo sanguíneo, especialmente en las partes más distales del cuerpo, esto con el fin de reducir la pérdida de calor por medio de la sangre. Este evento fisiológico solo se da cuando el cuerpo está expuesto al frío, tan pronto se retira el estímulo el vaso sanguíneo se dilata (Garcés & Calvo, 2003) (Becker, Schewe, & Heipertz, 2005).

El frío genera una importante disminución del metabolismo de los tejidos y de las necesidades de oxígeno y nutrientes (Plaja, 2003), esto hace que la magnitud de la inflamación sea menor. Se dice que el frío favorece la recuperación ante las sensaciones de dolor, debido a que tiene un efecto analgésico. La exposición del cuerpo a temperaturas bajas reduce la velocidad de conducción de nervios sensitivos y motores, más evidente en las fibras mielinizadas delgadas que en las gruesas y las amielínicas, generando un bloqueo transitorio de las señales de dolor, causando un efecto analgésico (Plaja, 2003) (Garcés & Calvo, 2003) (Becker, Schewe, & Heipertz, 2005).

El elemento indispensable para de la crioterapia es el frío, este se puede aplicar de múltiples formas, tales como hielo, bolsa de hielo, toalla helada, compresa fría (con gel en su interior), líquidos fríos, sprays e inmersión en agua fría, este último será profundizado, ya que este tipo de tratamiento será usado para este estudio. La inmersión en agua fría permite que la temperatura se aplique de forma uniforme en la superficie corporal, ya sea local o general (Garcés & Calvo, 2003).

Es importante mencionar que este tipo de tratamiento terapéutico puede tener algunos riesgos para el deportista, tales como (Morillo, Vega, & Portero, 1998):

- Dado que el frío causa una constricción de los vasos sanguíneos, esto por ende genera un aumento en la resistencia vascular periférica, lo cual provoca un aumento transitorio de la presión arterial. Hay que tener en cuenta si el
-

individuo es hipertenso, ya que para este tipo de condición se debe tener más precaución en la terapia y se debe monitorear la presión arterial del sujeto durante el tratamiento, esto con el fin de garantizar su seguridad.

- Las respuestas del sistema circulatorio son generadas por el sistema nervioso simpático, es posible que en sujetos con disfunción vegetativa no se presenten los efectos de la terapia con frío.
- La disminución de la temperatura local o corporal causada por la terapia, puede influir en el tejido de colágeno, ya que el aumento de su viscosidad hace que la articulación sea más rígida.
- El proceso de recuperación de las heridas se puede ver afectado por el frío, lo mejor sería prevenir la aplicación directa del frío intenso sobre las heridas.
- Es importante prevenir la aplicación duradera del frío sobre zonas donde se encuentren fibras nerviosas muy superficiales, debido a que se han registrado casos de neuropraxia o axonotmesis.
- Aunque son poco frecuentes en el tratamiento de crioterapia, también se puede presentar quemaduras cutáneas por uso prolongado del hielo.
- Algunas personas tienen hipersensibilidad ante los agentes térmicos del frío, en estos casos se debe cambiar la terapia.

También existen unas contraindicaciones para terapias con frío, estas precauciones buscan garantizar la seguridad de la persona, a continuación se presentan las contraindicaciones (Morillo, Vega, & Portero, 1998) (Plaja, 2003):

- La hipersensibilidad al frío.
 - La arteriosclerosis.
 - Los trastornos vasculares periféricos.
 - Erosiones, heridas abiertas y úlceras.
 - Zonas tratadas con radioterapia, secuelas de congelación o injertos cutáneos.
 - Los vasoespasmo.
 - La crioglobulinemia, se presenta cuando en la sangre se encuentran cantidades de crioglobulinas, estas son proteínas que no son comunes en sangre y pueden causar bajas temperaturas y bloqueo vascular. Estas proteínas están
-

relacionadas con leucemias, lupus eritematoso, mieloma múltiple y artritis reumatoide.

- La intolerancia al frío puede originar tumefacción, dolor intenso y manifestaciones cutáneas como cianosis, enrojecimientos y manchas.
- Los niños y los ancianos tienen una termorregulación muy baja, en caso que aplique en esta población se debe tener mucha precaución.

En el campo de la medicina deportiva se ha utilizado mucho la crioterapia en la modalidad de inmersión en agua fría, con el fin de minimizar los signos y síntomas del DOMS. El frecuente uso de la inmersión en agua fría está basado en argumentos anecdóticos que señalan efectos positivos en la reducción del dolor luego de una sesión intensa de entrenamiento, dándole al atleta una pronta recuperación. Son muchas las investigaciones realizadas sobre la efectividad de la inmersión en agua fría en la reducción de los signos y síntomas del DOMS, pero los resultados son contradictorios debido a los pequeños tamaños de muestra, cegamiento inadecuado, participantes entrenados en fuerza, protocolos de ejercicio excéntrico, entre otras cosas más (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial, 2007). Versey, Halson y Dawson aseguran que varias investigaciones han informado que la inmersión en agua fría puede mejorar la recuperación del rendimiento físico en diferentes modalidades deportivas. Estos autores plantean que la inmersión en agua a 10-15 °C durante 5-15 minutos parecer ser el esquema de tratamiento más efectivo para la recuperación del atleta. También un estudio de revisión sistemática sobre los efectos de la inmersión en agua fría luego del ejercicio, confirmó que este tipo de tratamiento tiene unos efectos estadísticamente significativos frente a intervenciones de recuperación pasiva (Bleakley, McDonough, Gardner, Baxter, Hopkins, & Davison, 2012).

Por tal motivo, este estudio utilizó 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C \pm 1 °C (Versey, Halson, & Dawson, 2013), esto con el objetivo de determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

2. Planteamiento del problema

El dolor muscular tardío (Delayed onset muscle soreness- DOMS) es un malestar que se presenta 24 a 72 horas en personas que no están acostumbradas a realizar ejercicio excéntrico (descargar peso de forma controlada, correr colina abajo, saltos, etc.) (Chicharro, 2007), también se manifiesta en deportistas de nivel recreativo y elite que están desacostumbrados a las cargas excéntricas, esto ocurre generalmente al momento de iniciar una nueva fase del rendimiento deportivo. Este tipo de dolor es causado por un daño muscular que se hace evidente cuando aumenta la concentración de enzimas y proteínas musculares (Creatinquinasa, lactato deshidrogenasa, mioglobina, etc.) en sangre, ya que en condiciones normales estas enzimas y proteínas no pueden atravesar el sarcolema debido a su tamaño. Su aparición en sangre se debe a una ruptura de la membrana muscular, un claro ejemplo de esto es cuando una persona que padece de dolor muscular tardío puede tener un aumento de 2 a 10 veces de los niveles de creatinquinasa en sangre, que se relaciona con el grado de dolor muscular tardío (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003).

Por medio de evidencia científica se ha podido determinar las modificaciones estructurales que presenta el músculo lesionado, tales modificaciones incluye ruptura de la membrana muscular, modificación de la disposición paralela de las miofibrillas, ruptura de las líneas Z, desplazamiento de la banda A fuera del área central del sarcómero, edema o tumefacción de fibras musculares. También hay daño de otras estructuras como los nociceptores del tejido conectivo del músculo, arteriolas, capilares y la unión músculo-tendinosa, que son lesionados por el ejercicio excéntrico provocando la sensación de dolor (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003).

Las lesiones presentadas en el sarcómero, especialmente de las estructuras encargadas de transmitir la tensión, pueden ser responsable de la pérdida o disminución de la fuerza. El control del movimiento se puede ver afectado por la pérdida de fuerza, tanto la fuerza isométrica como la dinámica se pueden ver afectas por la disminución de la fuerza que genera el dolor muscular tardío, esto dificulta en gran parte la coordinación motora (Lindstedt, LaStayo, & Reich, 2001) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003) (Chicharro, 2007). Además el rendimiento físico en actividades con predominio de la resistencia aeróbicas también se ve alterado por las lesiones musculares. Vale la pena mencionar que la resíntesis del glucógeno muscular es más lento en músculos que presentan dolor muscular tardío (Chicharro, 2007).

El dolor muscular tardío está acompañado de una serie de signos y síntomas tales como la disminución del rango de movimiento articular, inflamación, rigidez y

pérdida de la fuerza, especialmente en las fibras de contracción rápida. Vale la pena resaltar que las activaciones excéntricas causa una notable reducción de la fuerza isométrica y concéntrica (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial, 2007). Algunas fibras musculares lesionadas pueden experimentar rigidez como causa del aumento de la concentración intracelular de calcio, dicha rigidez también puede estar provocada por un componente neural como reflejo ante el dolor (Chicharro, 2007) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003).

En un intento por minimizar los síntomas y signos de este dolor, los deportistas, entrenadores y profesionales de la salud han recurrido a una variedad de terapias físicas como la crioterapia, el masaje, la técnica de ultrasonido y la terapia de corriente eléctrica (Connolly, Sayers, & McHugh, 2003) (Cheung, A.Hume, & Maxwell, 2003). Las investigaciones realizadas hasta el momento han mostrado resultados contradictorios sobre los diferentes tratamientos para el manejo del dolor muscular tardío, la mayoría con pocos efectos analgésicos y mínimos efectos sobre la fuerza, la movilidad articular y los niveles de creatinquinasa (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial, 2007).

La crioterapia es utilizada con mucha frecuencia para manejar lesiones como el dolor muscular tardío, este tipo de terapias se usa con la intención de reducir la temperatura del tejido lesionado, así mismo generar una constricción de los vasos sanguíneos locales, para buscar una reducción de las respuestas inflamatorias y generar un bloqueo transitorio de las señales de dolor, dando como resultado un efecto analgésico (Plaja, 2003) (Garcés & Calvo, 2003) (Becker, Schewe, & Heipertz, 2005).

En el campo de la medicina deportiva se ha utilizado mucho la crioterapia en la modalidad de inmersión en agua fría, con el fin de minimizar los signos y síntomas del dolor muscular tardío. El frecuente uso de la inmersión en agua fría está basado en argumentos anecdóticos que señalan efectos positivos en la reducción del dolor luego de una sesión intensa de entrenamiento, dándole al atleta una pronta recuperación. Son muchas las investigaciones realizadas sobre la efectividad de la inmersión en agua fría en la reducción de los signos y síntomas del dolor muscular tardío, pero los resultados son contradictorios debido a los pequeños tamaños de muestra, cegamiento inadecuado, participantes entrenados en fuerza, protocolos de ejercicio excéntrico, entre otras cosas más (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial, 2007). Versey, Halson, y Dawson aseguran que varias investigaciones han informado que la inmersión en agua fría puede mejorar la recuperación del rendimiento físico en diferentes modalidades

deportivas. Estos autores plantean que la inmersión en agua a 10-15 °C durante 5-15 minutos parecer ser el esquema de tratamiento más efectivo para la recuperación del atleta. También un estudio de revisión sistemática sobre los efectos de la inmersión en agua fría luego del ejercicio conformó que este tipo de tratamiento tiene unos efectos estadísticamente significativos frente a intervenciones de recuperación pasiva (Bleakley, McDonough, Gardner, Baxter, Hopkins, & Davison, 2012).

Por tal motivo este estudio utilizó 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C \pm 1 °C (Versey, Halson, & Dawson, 2013), esto con el objetivo de determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Este proyecto de investigación hace parte de un convenio entre el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid (Politécnico Colombiano J.I.C.) y la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, un estudiante de la Maestría en Fisiología de la Universidad Nacional decide realizar un año de pasantía en la Maestría en Fisiología del Ejercicio del Politécnico Colombiano J.I.C., donde tuvo asignaturas y prácticas de la Maestría, además desarrolló este proyecto de investigación con asesoría de un profesor de planta del Politécnico Colombiano J.I.C..

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar el efecto de 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 ± 1 °C sobre los marcadores de daño muscular (creatinquinasa; lactato deshidrogenasa).
- Determinar el comportamiento de los marcadores de daño muscular antes y después de la intervención con ejercicio excéntrico.
- Describir la percepción de dolor antes y después de la intervención por medio de una escala análoga visual.
- Determinar la potencia muscular de miembros inferiores con un test funcional antes y después de la intervención con ejercicio excéntrico.
- Describir la relación entre los marcadores de daño muscular y el test funcional.



4. Hipótesis

4.1. Hipótesis alternativa

El protocolo de 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C tiene un efecto en la reducción de marcadores de daño muscular inducidos por el ejercicio excéntrico.

4.2. Hipótesis nula

El protocolo de 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C no tiene un efecto en la reducción de marcadores de daño muscular inducidos por el ejercicio excéntrico.



5. Metodología

5.1. Diseño del estudio

El diseño del estudio es cuasi-experimental, además es longitudinal prospectivo.

5.2. Población del estudio

15 nadadores de la Liga de Natación de Antioquia.

5.3. Criterios de inclusión

- Hombres.
- Entre 17 a 30 años de edad.
- Deportistas.
- No tome medicamentos.
- Sin discapacidad física o mental.

5.4. Criterio de exclusión

- Lesiones osteo-musculares.
- Padecimiento de enfermedades cardiovasculares.
- Intolerancia al frío.
- Dificultades para percibir el frío.
- No haber firmado y entregado el consentimiento informado.

5.5. Método de muestreo

- Muestreo no probabilístico – conveniencia.
-

5.6. Variables del estudio

Variable independiente

- 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 ± 1 °C.

Variable dependiente

- Marcadores de daño muscular (creatinquinasa; lactato deshidrogenasa).
- Dolor muscular tardío (escala análoga visual).
- Potencia muscular (test funcional).

5.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico no paramétrico con el programa SPSS versión 21 para Windows, se utilizó la Prueba U de Mann-Whitney (versión no paramétrica de la prueba t de student) para hacer un análisis intergrupar en las variables de edad, tiempo de práctica, peso, estatura, IMC, tejido graso, CK, LDH, escala del dolor, salto vertical y potencia antes de la intervención. Luego, se empleó la Prueba de Wilcoxon para analizar la variable de CK y LDH tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo control, específicamente antes y 5 minutos después de la intervención. Posteriormente, se aplicó la Prueba U de Mann-Whitney para las variables de CK, LDH, escala de dolor, salto vertical y potencia, analizados a las 24, 48 y 72 horas después de la intervención, tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo control. Finalmente, se realizó la Prueba de Wilcoxon para comparar cada variable en el mismo grupo, pero en diferentes tiempos (24 – 48; 24 – 72; 48 – 72). Los valores se expresaron con medianas y rangos intercuartílicos, con un valor de $p < 0.05$.

5.8. Métodos de recogida de datos

5.8.1. Medidas antropométricas

Los participantes fueron evaluados por protocolos antropométricos para determinar algunas características físicas como peso, estatura, porcentaje de

grasa y masa muscular. El peso se expresó en kilogramos y se midió con una báscula Detecto. La estatura se denotó en metros y se halló con un tallímetro Kramer, el porcentaje de grasa y masa muscular se calculó por medio de una báscula de bioimpedancia.

5.8.2. Marcadores de daño muscular

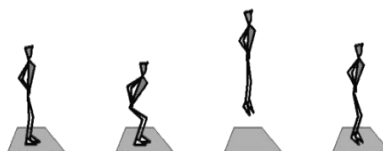
Se sacaron muestras de sangre a los participantes antes de cada intervención de ejercicio excéntrico, cinco minutos después de la recuperación y posteriormente a las 24, 48 y 72 horas, esto con el fin de determinar la cantidad de creatinquinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH) que se encuentra en sangre como respuesta al daño muscular.

5.8.3. Toma de sangre

Las sustancias CK y LDH fueron los indicadores de daño muscular, se sacó en cada toma 5 ml de sangre en la fosa antecubital del codo, las muestras se depositaron en tubos.

5.8.4. Test funcional

La potencia muscular se evaluó con el salto vertical, en el test funcional el sujeto estuvo en bipedestación con los pies ubicados a la anchura de los hombros y con las manos en la cintura, en esta posición el participante hizo una flexión de rodilla hasta 90° y sin detenerse realizó una extensión de rodilla generando el salto vertical, este salto se realizó sobre un tapete digital AXON CYCLE que calculó la altura y tiempo de vuelo del sujeto (Rodríguez, 2010). Esta prueba funcional se realizó antes de la intervención con ejercicio excéntrico, 24, 48 y 72 horas después.



Técnica del salto vertical¹

¹ Imagen hallada en: <http://www.rendimientodeportivo.com/N006/Artic029.htm>

5.8.5. Potencia muscular

Para estimar la potencia utilizada en el salto vertical es fundamental emplear la fórmula de L. W. Sargent (1924), la cual es la siguiente (Billat, 2002) (Hoffman, 2006) (Haff & Dumke, 2012):

- $P \text{ (kgm/s)} = \sqrt{g/2} \times \text{masa} \times \sqrt{h}$

Dónde:

g = la gravedad = 9,81 m/s².

masa = masa del sujeto en kg.

h = la altura alcanzada en metros.

La fórmula también se puede expresar así (Billat, 2002):

$$P \text{ (kgm/s)} = \sqrt{9,8/2} \times \text{masa} \times \sqrt{h}$$

$$P \text{ (kgm/s)} = 2,21 \times \text{masa} \times \sqrt{h}$$

Por ejemplo, un hombre de 70 kg realiza un salto de 70 cm, por lo tanto su potencia es la siguiente (Billat, 2002):

$$\begin{aligned} P \text{ (kgm/s)} &= 2,21 \times 70 \text{ kg} \times \sqrt{0,7} \text{ metros} \\ &= 70 \times 2,21 \times 0,836 = 129,3 \text{ kgm/s} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que 1 kgm = 9,81 júlíos, podemos hacer la conversión de júlíos a vatios de la siguiente manera:

$$P \text{ (kgm/s)} = 129,3 \times 9,81 = 1268,7 \text{ júlíos/s} = 1268,7 \text{ vatios} = 1268,7 \text{ watt}$$

5.8.6. Test de percepción de dolor

Para conocer la percepción de dolor de los participantes, se utilizó una escala análoga visual que está enumerada de 0 a 10 puntos (0 = sin dolor, 1-3 = dolor débil, 4-6 = dolor moderado, 7-9 = dolor severo y 10 = la intensidad del dolor es insoportable). Para llevar a cabo este test el participante tuvo que sentarse y ponerse de pie inmediatamente, después de esto indicó la puntuación en la escala análoga visual (Tabla 1), el test se hizo antes de la intervención con ejercicio excéntrico y posteriormente a las 24, 48 y 72 horas (Santos, y otros, 2012) (Sellwood, Brukner, Williams, Nicol, & Hinman, 2007).

Tabla 1. Escala Análoga visual del Dolor⁴

Puntuación	Sensación
0	Sin dolor
1	Dolor débil
2	
3	
4	Dolor moderado
5	
6	
7	Dolor severo
8	
9	
10	Dolor insoportable

5.9. Intervención

5.9.1. Protocolo de inmersión en agua fría

En este estudio se analizó el efecto de 15 minutos de inmersión en agua fría a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre los marcadores de daño muscular inducidos por el ejercicio excéntrico en deportistas (Versey, Halson, & Dawson, 2013). Como control se utilizó un placebo que consistió en 15 minutos de inmersión en agua termoneutra a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los participantes se sumergieron en una bañera hasta que el agua llegó a la altura de las crestas ilíacas. La temperatura de las piscinas se controló por medio de termómetros de mercurio.

5.9.2. Prueba de una repetición máxima

La repetición máxima (1RM) se llevó a cabo el primer día de la intervención, el objetivo de esta prueba fue determinar el 100% de 1RM, vale la pena aclarar que dicha prueba es específica, es decir, se realizó el máximo esfuerzo de la fase excéntrica (Neme, Nunes, Brenzikofer, & Macedo, 2013).

5.9.3. Protocolo de ejercicio excéntrico

Los participantes realizaron 2 series de 10 repeticiones excéntricas en la máquina de extensión de rodilla al 100% de 1RM excéntrica con un minuto de descanso

entre series. Dos voluntarios hicieron la fase concéntrica del movimiento (Bompa, 2006) (Neme, Nunes, Brenzikofer, & Macedo, 2013).

5.9.4. Procedimiento

Este estudio es cuasi-experimental, en el cual participaron 15 hombres nadadores que se distribuyeron en 2 grupos (grupo tratamiento (n=10); grupo control (n=5), esta distribución fue por orden de llegada de los nadadores. Después de realizar el protocolo excéntrico (2 series de 10 repeticiones excéntricas en la máquina de extensión de rodilla al 100% de 1RM excéntrica con un minuto de descanso entre series), el grupo de tratamiento realizó 15 minutos de inmersión en agua fría a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Versey, Halson, & Dawson, 2013). En cambio, el grupo control tuvo una recuperación de 15 minutos de inmersión en agua termoneutra a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (placebo). En ambos grupos se realizó el seguimiento de las variables (CK, LDH, salto vertical, potencia y percepción del dolor) en las 24, 48 y 72 horas posteriores a la intervención. A continuación se muestra la secuencia de intervención en los grupos en la Tabla 2.

Tabla 2. Secuencia de intervención

Antes de la intervención	Grupos	Periodo de intervención	5 minutos después	Seguimiento (24, 48 y 72 horas)
-Test de percepción del dolor. -Test funcional. -Extracciones de sangre.	tratamiento	IAF 15min x $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	Extracciones de sangre.	-Test de percepción del dolor. -Test funcional. -Extracciones de sangre.
	control	IAT 15min x $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$		
IAT: inmersión en agua termoneutra. IAF: inmersión en agua fría.				

5.10. Control de sesgos

5.10.1. Sesgos de selección

- **Sesgo de selección sistemático**

Se hizo un muestreo no probabilístico por conveniencia, donde los participantes fueron evaluados según los criterios de inclusión y exclusión de este estudio, buscando el cumplimiento de ciertas características similares entre los sujetos.

Los grupos se conformaron por orden de llegada, es decir, los primeros 10 participantes fueron el grupo de tratamiento, mientras que los otros 5 participantes el grupo control.

- **Sesgo de selección por diferencia en la permanencia de los sujetos en el estudio**

Es importante mencionar la inclusión de un cronograma de actividades, en el cual se demostró que todos los participantes tendrán el mismo tiempo de permanencia en el estudio, esto con el fin de eliminar algunos factores que pueden alterar los resultados.

5.10.2. Sesgos de información

- **Sistema de medición**

Este tipo de sesgo se refiere a los errores que se introducen durante la medición de los sujetos, bien sea por la utilización de diferentes instrumentos de medición para la misma variable o por la forma de recopilar los registros tomados. Para esta investigación todos los participantes fueron medidos con los mismos instrumentos de evaluación para las medidas antropométricas, toma de sangre, test funcional y escala análoga visual del dolor y cuestionario de actividad física. Cabe recordar que los aparatos utilizados se calibraron antes de su uso.

- **Los sujetos del estudio**

Los sujetos del estudio pueden generar algún sesgo de información en el momento en que diligencien el cuestionario de actividad física, ya que la información suministrada por la persona depende de su memoria. También vale la pena mencionar que la escala análoga visual del dolor está determinada por la percepción que tenga el sujeto sobre este tipo de sensaciones y es posible que subestime o sobreestime dicha sensación.

- **Sesgo de confusión**

Un factor de confusión puede ser el tipo de actividad física que realizan los participantes en su vida cotidiana que puede contribuir a una fatiga rápida y/o una demora en la recuperación, esto debido a que no se controla las actividades de la vida cotidiana de los sujetos, dicho sesgo de confusión está distribuido en todos los grupos.

5.11. Consideraciones éticas de los participantes

En el Ministerio de Salud de la República de Colombia se encuentra la Resolución N° 8430 de 1993, en la que se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, de esta resolución se extrajeron los fragmentos más importantes que respaldan esta investigación. Además se tuvo en cuenta la Resolución de 2378 de 2008 del Ministerio de la Protección Social, también se incluyó la Declaración de Helsinki y por último, pero no menos importante las Pautas del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (iniciales en inglés CIOMS). Las consideraciones éticas de los participantes fue analizado y calificado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia, posteriormente se realizaron las correcciones sugeridas por el Comité, por último el Comité de Ética aprobó las consideraciones éticas de este estudio.

5.11.1. Sujetos que participan en el estudio

En el título II de la Resolución 8430 de 1993 está el capítulo 1 que hace referencia a *los aspectos éticos de la investigación en seres humanos*, en la cual se debe cumplir los siguientes criterios:

- Para este estudio se dio gran importancia a la seguridad de los participantes, esto con el propósito de garantizar el bienestar de los sujetos de estudio. Además se contó con la presencia de profesionales del área de la salud con experiencia en el cuidado integral del ser humano (Artículo 6) (también se menciona en la Declaración de Helsinki).
- Los individuos que participen en esta investigación contaron con la privacidad de los datos personales, estos datos fueron manejados con la mayor confidencialidad posible para no mostrar la identidad de los sujetos, en caso que sea necesario revelar la identidad de alguna persona siempre y cuando se tenga una previa autorización del participante (Artículo 8) (también se menciona en la Declaración de Helsinki).

5.11.2. Intervención en los participantes del estudio

Los individuos que sean seleccionados para este estudio realizarán las siguientes actividades:

- Leer y firmar el consentimiento informado (ver anexos).
-

- Diligenciar el cuestionario de actividad física (ver anexos).
- Disponerse para las medidas antropométricas.
- Ejecutar el protocolo de ejercicio excéntrico.
- Participar en las inmersiones en agua fría y termoneutra.
- Disponerse para la extracción de sangre antes y después de cada intervención.
- Realizar un test funcional para medir la potencia muscular.
- Responder a la escala análoga visual del dolor.

5.11.3. Estrategia para obtener el consentimiento informado

- El investigador principal de este estudio dio unas explicaciones claras utilizando un lenguaje sencillo en el que los participantes no presentaron dificultades para comprender los beneficios, riesgos y complicaciones (sugerencia de las Pautas del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas).
 - Se destinó un tiempo adicional para resolver las dudas de los participantes del estudio, de tal manera que se tenga total claridad de los procedimientos (sugerencia de Pautas del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas).
 - Dar el tiempo suficiente para que las personas lean y comprendan la información del consentimiento informado (sugerencia de Pautas del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas).
 - El consentimiento informado es aceptado y anexado cuando este tenga la firma del participante.
 - En el Artículo 15 de la Resolución 8430 y la Declaración de Helsinki se encuentra los lineamientos que debe tener el consentimiento informado, tales como:
 - “La justificación y los objetivos de la investigación.
 - Los procedimientos que vayan a usarse y su propósito incluyendo la identificación de aquellos que son experimentales.
 - Las molestias o los riesgos esperados.
-

- Los beneficios que puedan obtenerse.
- Los procedimientos alternativos que pudieran ser ventajosos para el sujeto.
- La garantía de recibir respuesta a cualquier pregunta y procedimientos, riesgos, beneficios y otros asuntos relacionados con la investigación y el tratamiento del sujeto.
- La libertad de retirar su consentimiento en cualquier momento y dejar de participar en el estudio sin que por ello se creen perjuicios para continuar su cuidado y tratamiento.
- La seguridad que no se identificará al sujeto y que se mantendrá la confidencialidad de la información relacionada con su privacidad.
- El compromiso de proporcionarle información actualizada obtenida durante el estudio, aunque ésta pudiera afectar la voluntad del sujeto para continuar participando.
- La disponibilidad de tratamiento médico y la indemnización a que legalmente tendría derecho, por parte de la institución responsable de la investigación, en el caso de daños que le afecten directamente, causados por la investigación.
- En caso de que existan gastos adicionales, éstos serán cubiertos por el presupuesto de la investigación o de la institución responsable de la misma” (Artículo 15 de la Resolución N° 8430 de 1993, Ministerio de Salud de la Republica de Colombia).

5.11.4. Riesgos físicos, sociales o legales a los que puede verse sometidos los participantes

Para la descripción de los riesgos implicados de esta investigación, fue necesario basarnos en el Artículo 11 de la Resolución 8430, donde se considera que el riesgo mínimo de investigación, puede estar dado por las valoraciones físicas como antropometría y las extracciones de sangre cuando un estudio requiere un volumen máximo de 450 ml, para esta investigación solo se requirió volumen total de 20 ml por sujeto.

5.11.5. Compromisos del investigador principal en la toma y procesamiento de las muestras de sangre

Según la Resolución 2378 de 2008 del Ministerio de la Protección Social, el investigador principal tiene la responsabilidad de comprobar las siguientes actividades:

- Si el laboratorio encargado de extraer las muestras cuenta con un manual de procedimientos para la extracción, almacenamiento, movilización y análisis de las muestras de sangre. Asimismo, se verifica la idoneidad del personal encargado de realizar la toma de muestras.
- Contar con la infraestructura y materiales necesarios para hacer una correcta extracción de muestras.
- Durante el proceso de toma, conservación, transporte y análisis de muestras, se respeta la confidencialidad de los participantes del estudio.
- Verificar la validez de los resultados por medio de la estandarización de protocolos según el manual de procedimientos del laboratorio.

5.11.6. Documentos que debe conservar el investigador principal

La Resolución 2378 de 2008 del Ministerio de la Protección Social indica que el proyecto de investigación es una responsabilidad que tiene el investigador con el Comité de Ética, los participantes y el patrocinador del estudio. Por tal motivo, es fundamental conservar los documentos del proceso de investigación, pues dicha información es una constancia del desarrollo del estudio. Para evidenciar la ejecución del proyecto, el investigador principal conservó los siguientes documentos:

- Proyecto de investigación.
 - Revisiones del proyecto.
 - Constancia de aprobación del estudio por el Comité de Ética.
 - Consentimiento informado.
 - Copia del consentimiento informado firmado por los participantes.
 - Presupuesto del estudio.
-

- Informe final del proyecto de investigación.
- Lista de personas que participa en el estudio.
- Directorio de participantes.

5.11.7. Métodos utilizados para minimizar los riesgos potenciales

Una de las estrategias que se utilizó para minimizar los riesgos potenciales en los participantes es utilizar instrumentos de medición seguros y calibrados para garantizar la integridad del individuo, además se contó con la presencia de profesionales del campo de la salud, tales como enfermeros y médico. También se brindó un espacio con instalaciones seguras donde los participantes se sintieron cómodos. En caso que se presente algún inconveniente que ponga en alto riesgo la integridad física y psicológica del individuo entonces se tomaran las medidas respectivas para garantizar su seguridad (también se menciona en la Declaración de Helsinki).

5.11.8. Beneficios que obtienen los participantes del estudio

Los participantes del estudio tuvieron la oportunidad de hacer parte de un proceso investigativo, el cual les pudo ser útil para su vida cotidiana, esta experiencia puede ser una fuente de aprendizaje para los individuos, ya que los diferentes procedimientos que se realizaron en este estudio pudieron ser situaciones novedosas para algunos participantes. Además de conocer los efectos que tiene la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

6. Resultados

En el estudio participaron 15 hombres nadadores con un nivel de actividad física alto según el cuestionario internacional de actividad física (versión corto), la distribución de los sujetos se muestra en la figura 2.

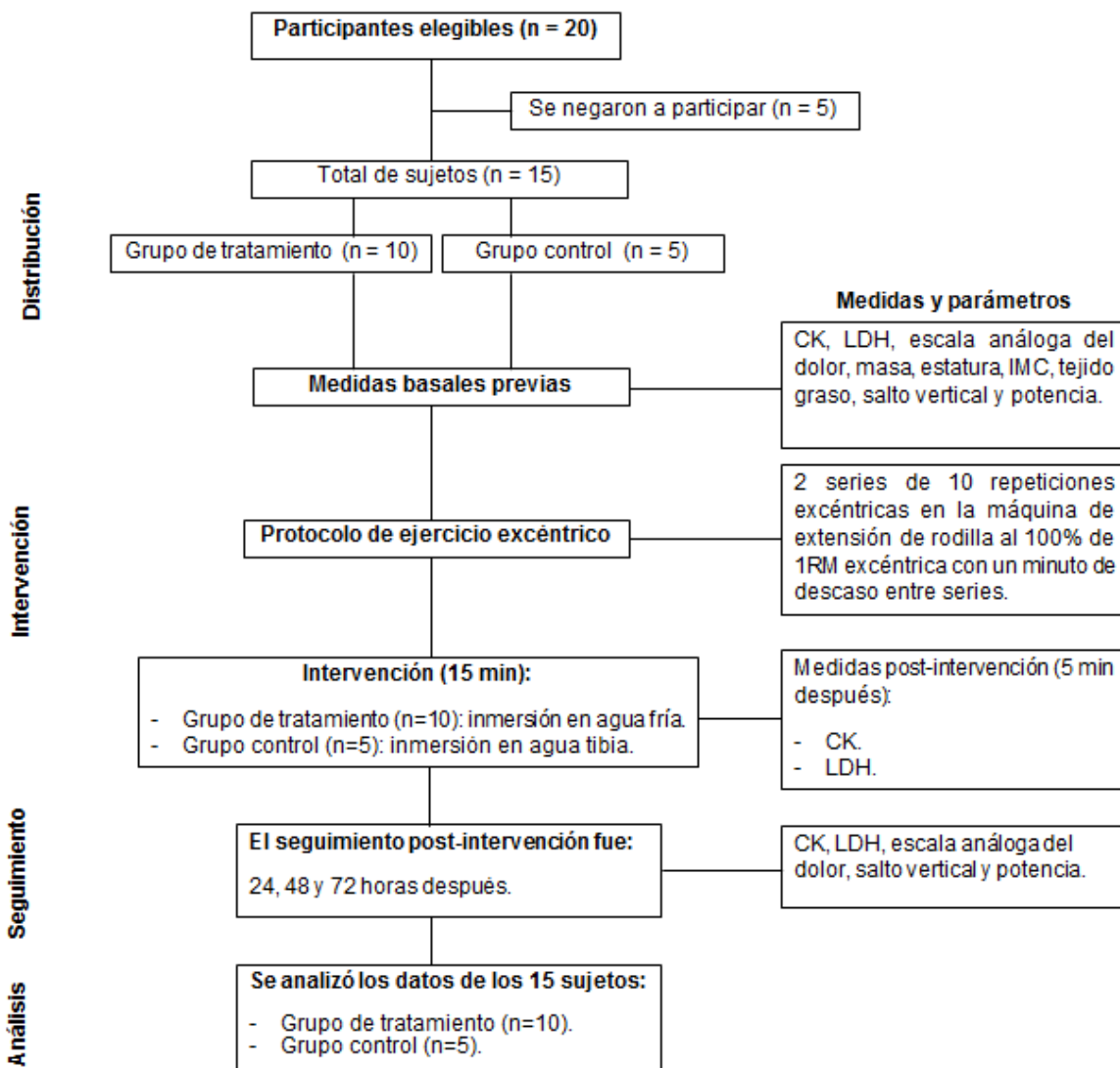


Figura 2. Diagrama de flujo sobre la selección y distribución de los sujetos.

El grupo de tratamiento tuvo una muestra de 10 personas, estos nadadores permanecieron 15 minutos en inmersión en agua fría a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, el grupo control con una muestra de 5 personas, permanecieron 15 minutos en inmersión en agua tibia a $32\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La tabla 3, muestra los valores iniciales de las variables estudiadas, se observa que solo la variable estatura y salto vertical presentan diferencias estadísticamente significativas entre el grupo tratamiento y el grupo control.

Variables	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
Edad (años)	19 (18 – 23)	22 (19 – 25)	0.194
Tiempo práctica (años)	9.5 (8 – 15)	7 (4 – 8)	0.137
Peso (kg)	70.5 (61,4 – 79,8)	67.5 (60.1 -74.5)	0.540
Estatura (m)	1.77 (1.76 – 1.81)	1.73 (1.72- 1.74)	▪ 0.023
IMC (kg/m ²)	21.9 (20.2 – 23.3)	22.8 (21.2 – 24.3)	0.270
Tejido graso (%)	16.7 (14.4 – 20.4)	16.3 (12.7 – 21)	0.841
CK inicial (U/L)	215 (165 – 231)	198 (190 – 231)	0.951
LDH inicial (U/L)	188 (181 – 203)	174 (169 – 186)	0.244
Escala de Dolor inicial (0-10)	0 (0 – 0)	0 (0 – 0.5)	0.157
Salto Vertical inicial (cm)	42.9 (39.9 – 45.3)	35.3 (33.1 – 40.1)	▪ 0.023
Potencia inicial (watt)	971 (862 – 1112)	859 (745 – 1007)	0.270

IMC, Índice de masa corporal.

CK, Creatinquinasa.

LDH, Lactato deshidrogenasa.

▪, Valores que indican significancia estadística.

En el análisis intragrupal se observan diferencias estadísticamente significativa en la variable CK al inicio (valor p = 0.005) y a los 5 minutos (valor p = 0.039) en ambos grupos, nótese un aumento en dichas medidas. Con relación al LDH, no se encuentra diferencias estadísticamente significativas, esto señala que la variable se comporta igual tanto en el grupo de tratamiento como en el grupo control en ambos momentos de tiempo.

	Variables	Antes	Después	Valor -p
Grupo tratamiento	CK (U/L)	215 (165 – 231)	240 (195 – 263)	▪ 0.005
	LDH (U/L)	188 (181 – 203)	191 (171 – 206)	0.575
Grupo control	CK (U/L)	198 (190 – 231)	222 (215 – 256)	▪ 0.039
	LDH (U/L)	174 (169 – 186)	173 (160 – 191)	0.500

▪, Valores que indican significancia estadística.

6.1. Creatinquinasa (CK)

La medida de CK presenta valores más altos en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Figura 3), lo cual no representa diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Adicionalmente en ambos grupos esta medida se reduce en el tiempo (24, 48 y 72 horas), siendo mucho más notoria la reducción en el grupo de tratamiento, se puede observar además que los valores de esta variable son mucho más dispersos en el grupo de tratamiento que en el grupo control.

El análisis intragrupal indica que el grupo de tratamiento presenta dos diferencias estadísticamente significativas. La primera, se muestra en la comparación de 24 y 48 horas con un valor de p de 0.037. La segunda significancia estadística se encuentra en la comparación de 24 y 72 horas, también con un valor de p de 0.037, ambos casos presentaron reducción de la CK. La comparación de 48 y 72 horas no mostró ninguna significancia estadística. Por otro lado, el grupo control no tuvo diferencia estadísticamente significativa en las diferentes comparaciones (24 – 48; 24 – 72; 48 – 72).

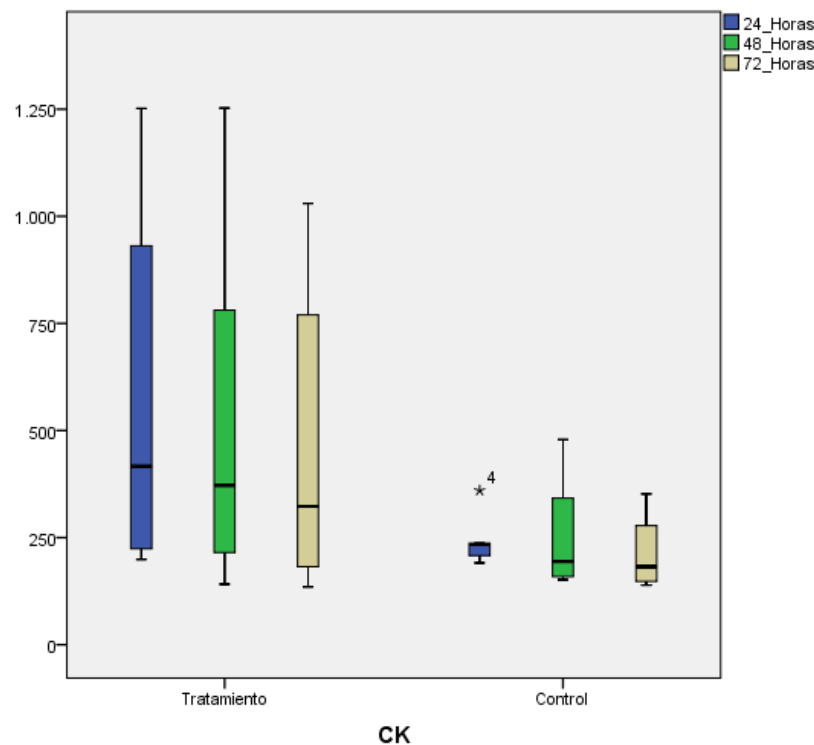


Figura 3.

6.2. Lactato deshidrogenasa (LDH)

La variable de LDH tiene cifras más altas en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Figura 4), lo cual no representa diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Además en ambos grupos esta medida aumenta a las 24 y 48 horas y posteriormente muestra una reducción a las 72 horas, presentando mayor reducción en el grupo control. Adicionalmente se puede ver que los valores de LDH son más dispersos en el grupo de tratamiento (especialmente a las 48 y 72 horas) que en el grupo control.

El análisis intragrupal señala que tanto el grupo de tratamiento como el grupo control no presentan diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las comparaciones realizadas (24 – 48; 24 – 72; 48 – 72).

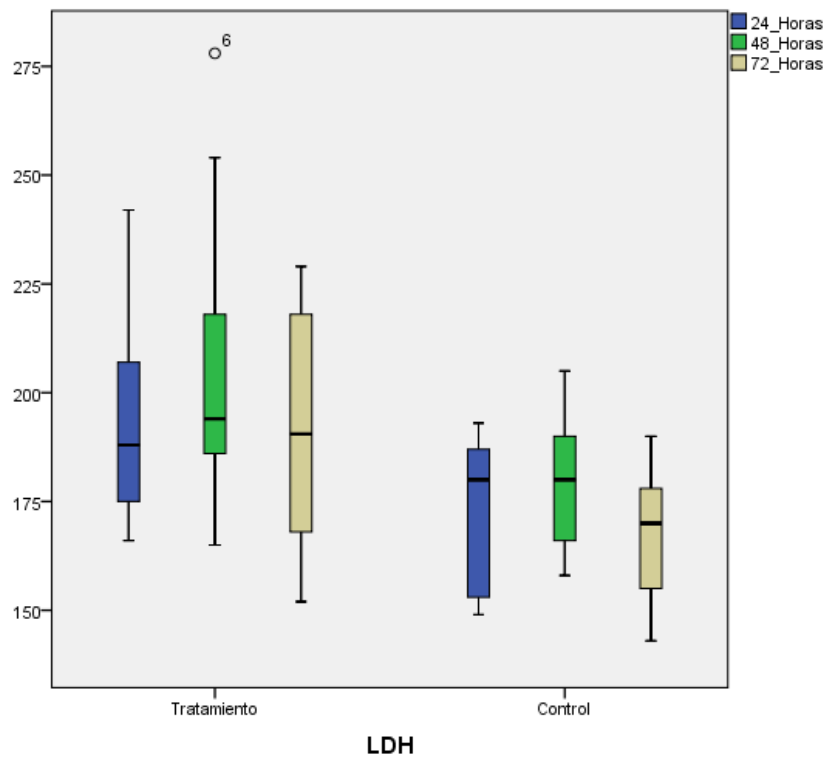


Figura 4.

6.3. Salto vertical

La medida de salto vertical presenta valores más altos en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Figura 5), en este caso, sí existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos a las 24 horas con un valor de p de 0.023 y a las 72 horas con un valor de p de 0.048. Adicionalmente en ambos grupos la altura del salto se reduce en el tiempo (24, 48 y 72 horas), también se observa que el grupo de tratamiento salta más alto que el grupo control, presentando mayor dispersión el grupo de tratamiento.

El análisis intragrupal indica que tanto el grupo de tratamiento como el grupo control no presentan diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las comparaciones realizadas (24 – 48; 24 – 72; 48 – 72).

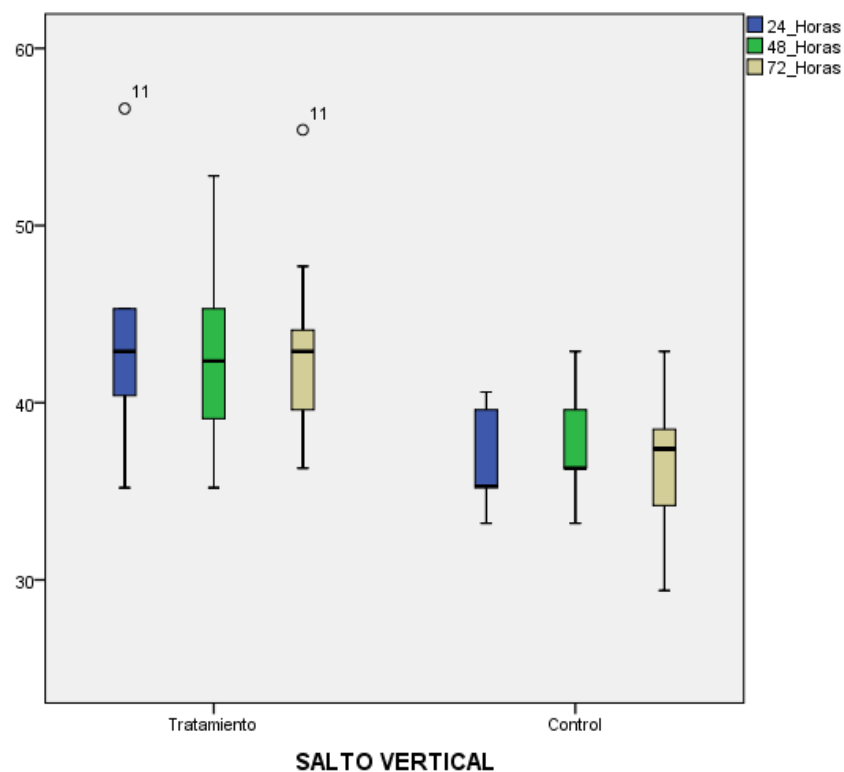


Figura 5.

6.4. Potencia

La variable de potencia tiene cifras más altas en el grupo de tratamiento que en el grupo control (Figura 6), lo cual no representa diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. A las 24 y 48 horas, el grupo de tratamiento incrementó la potencia, mientras que el grupo control presentó estabilidad. A las 72 horas, ambos grupos tuvieron una reducción de la potencia. El grupo de tratamiento tuvo más dispersión que el grupo control.

Por otro lado, en el análisis intragrupal, tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas en las comparaciones realizadas (24 – 48; 24 – 72; 48 – 72).

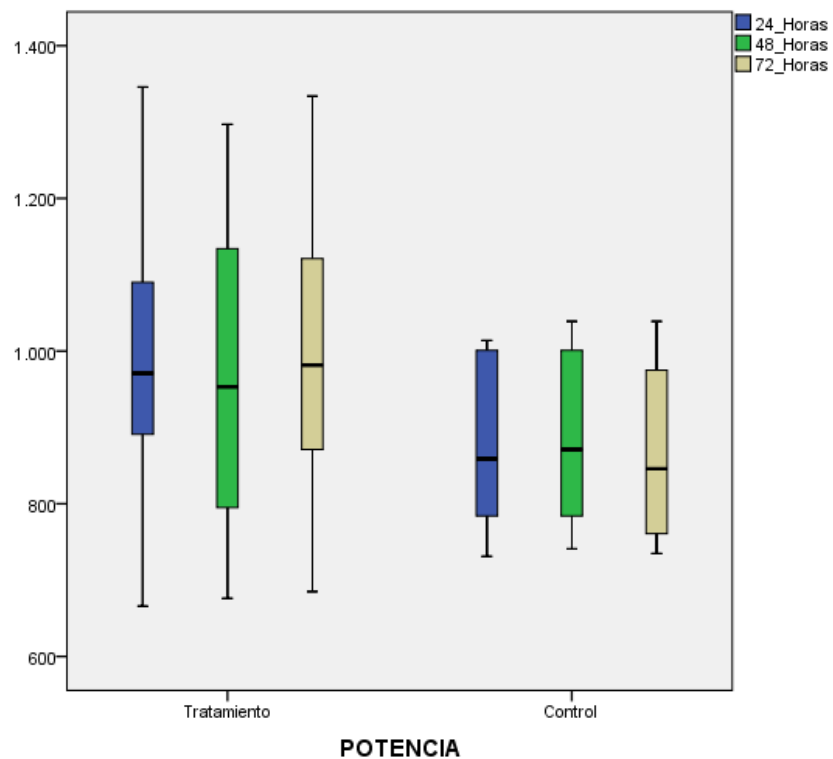


Figura 6.

6.5. Escala análoga del dolor

Para la escala análoga del dolor, el análisis intergrupar señala que ambos grupos no tiene diferencias estadísticamente significativas a las 24, 48 y 72 horas. Sin embargo, el análisis intragrupal muestra dos diferencias estadísticamente

significativas en el grupo de tratamiento. La primera, en la comparación 24 – 48 horas con un valor de p de 0.014, debido a que los participantes reportaron a las 24 horas una mediana de 0 que representa ningún tipo de dolor y a las 48 horas reportaron una mediana de 1 que significa dolor leve. La segunda diferencia estadísticamente significativa se registró en la comparación 24 – 72 horas con un valor de p de 0.016, en este caso, la mediana reportada fue 1 que corresponde al dolor leve. En la comparación entre 48 – 72 horas no se presentó significancia estadística. Es importante mencionar que el grupo control no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las comparaciones realizadas (24 – 48; 24 – 72; 48 – 72).

7. Discusión

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín. El análisis intergrupar indica que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en las variables de CK, LDH, escala del dolor y potencia, solo la variable de salto vertical presenta diferencias estadísticamente significativas a las 24 y 72 horas, donde el grupo de tratamiento saltó más alto que el grupo control, es importante mencionar que esta diferencia ya estaba reportada antes de la intervención.

Teniendo en cuenta los datos de esta investigación, se sugiere rechazar la hipótesis alterna que indica que: *El protocolo de 15 minutos de inmersión en agua fría a 15 °C tiene un efecto en la reducción de marcadores de daño muscular inducidos por el ejercicio excéntrico.* Se acepta la hipótesis nula, ya que la inmersión en agua fría no tuvo ningún efecto reductor en los marcadores de daño muscular. La muestra del estudio fue muy pequeña, de los 20 sujetos seleccionados para el estudio, solo 15 personas aceptaron participar en la investigación, esto quiere decir que se perdió el 25% de la muestra, quedando una muestra muy heterogénea. Además, los nadadores incluidos en el estudio no suspendieron las sesiones de entrenamiento durante la investigación, no se tuvo control sobre la intensidad de los entrenamientos, tampoco se les preguntó a los deportistas sobre el padecimiento de lesiones musculares (calambres, espasmos, golpes, etc.) post-intervención y/o inyecciones intramusculares, estos factores pudieron influir en la investigación. Los resultados del estudio indican que la inmersión en agua fría no tiene un efecto estadísticamente significativo en la reducción de los marcadores de daño muscular (CK; LDH) en el grupo intervenido.

En esta investigación se analizó la creatinquinasa y el lactato deshidrogenasa como únicos indicadores de daño muscular, ya que son los marcadores más comunes en este tipo de estudios. Pero ¿Qué tan efectivos son estos marcadores biológicos para indicar daño muscular?, pues bien, los resultados de este estudio muestran que ambos marcadores biológicos tiene comportamientos distintos frente a la misma carga de ejercicio excéntrico, dado que la cantidad de CK y LDH intrasujeto tiene proporciones distintas, teniendo más concentración de CK en sangre que LDH, en este estudio no se presentaron diferencias estadísticamente significativas en los marcadores CK y LDH. Por esta razón se recomienda utilizar más de dos marcadores de daño muscular para poder evidenciar los efectos del protocolo excéntrico y del tratamiento de recuperación, que en este caso es la inmersión en agua fría.

Pero ¿Qué se encuentra en la literatura actual?, para responder a esta pregunta fue necesario citar las investigaciones más recientes para el abordaje de este tema, incluyendo estudios experimentales, revisiones sistemáticas y meta-análisis. En la actualidad se encuentran posiciones divididas con respecto a la inmersión en agua fría, ya que los resultados de las más recientes investigaciones muestran resultados contradictorios. Algunos autores defienden el uso de la inmersión en agua fría como método efectivo para la recuperación muscular, mientras otros autores indican que no existe ningún efecto positivo en la reducción de los signos y síntomas del dolor muscular tardío.

Dentro de los estudios que reportan efectos positivos en la reducción de molestias musculares, se encuentra el estudio *“Efectos de la crioterapia en los marcadores de daño muscular y en la percepción de la mialgia de aparición tardía tras carrera en bajada”*. En el estudio participaron 10 personas que hicieron carreras cuesta abajo con una pendiente de -6%, posteriormente fueron asignados aleatoriamente a la sesión de crioterapia (inmersión en agua fría $15 \pm 1^\circ\text{C}$). Las variables analizadas fueron los marcadores de daño muscular (CK; LDH; Calcio) y la percepción del dolor muscular con la escala análoga para el dolor, registradas antes, 24 y 48 horas después del ejercicio excéntrico. Los resultados mostraron una reducción significativa del dolor muscular, además se evidenció una recuperación homeostática de los marcadores de daño muscular (Rossato, Bezerra, Silva, Santana, Malezam, & Carpes, 2015). Esta investigación tiene algunas similitudes con el estudio realizado con los nadadores de Medellín, pero en nuestro caso, la inmersión en agua fría no mostró resultados significativos en las variables de CK y LDH.

Sin embargo, no es la única investigación reciente que demuestra los efectos positivos del tratamiento con frío, pues la investigación *“Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise”*,

también expone los beneficios de su uso. Este estudio fue aleatorio cruzado, se analizó el efecto de la inmersión en agua fría en la recuperación muscular luego de hacer ejercicios de resistencia de alta intensidad. La muestra del estudio fue de 10 hombres físicamente activos que realizaron 1 hora de entrenamiento de resistencia de alta intensidad, posteriormente se dirigieron a la inmersión en agua fría a 10°C o a la recuperación activa de baja intensidad. En el estudio se tomaron muestras de sangre, temperatura muscular, circunferencia de la pierna, dolor muscular y función muscular. Los resultados del estudio indican que la inmersión en agua fría luego del ejercicio de resistencia, le permite a los sujetos realizar más trabajo en los próximos entrenamientos, los autores de este estudio señalan que la inmersión en agua fría lograría mejoras adaptativas a largo plazo (Roberts, Nosaka, Coombes, & Peake, 2014).

Sin duda, estas investigaciones defienden el uso de la inmersión en agua fría, pues los hallazgos encontrados, destacan su efectividad para contrarrestar las molestias ocasionadas por el dolor muscular tardío. Este método de recuperación ha sido investigado múltiples veces, al punto de encontrar en la actualidad una amplia variedad de protocolos de inmersión en agua fría realizados en diferentes poblaciones y modalidades deportivas. Sin embargo, estos estudios arrojan resultados contradictorios que no permiten tener un consenso claro sobre su efectividad. Por esta razón es necesario las revisiones sistemáticas y los meta-análisis para tener más claridad al respecto.

En la revista *European Journal of Human Movement* se publicó un meta-análisis llamado "*Effect of water immersion on recovery from fatigue: A meta-analysis*", en el cual analizaron 11 estudios en total que fueron publicados entre los años 1998 a 2013. El meta-análisis concluye que las inmersiones de agua fría tiene un efecto positivo y moderado en los procesos de recuperación, en cambio, las inmersiones de contraste (frio/caliente) no tienen ningún efecto en la recuperación muscular (Sánchez-Ureña, Barrantes-Brais, Ureña-Bonilla, Calleja-González, & Ostojic, 2015).

El meta-análisis anterior se publicó en el año 2015, en ese mismo año, otros autores también publicaron un meta-análisis llamado "*Can water temperatura and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness?: A Systematic Review and Meta-Analysis*". El objetivo del estudio fue comprobar la eficacia de la inmersión en agua fría en el proceso de recuperación muscular comparado con la recuperación pasiva, además se indagó sobre las características (temperatura del agua y tiempo de inmersión) de los protocolos de inmersión. En esta revisión sistemática se incluyeron ensayos aleatorios que compararon la inmersión en agua fría con la recuperación pasiva, la búsqueda de información se realizó hasta el mes de enero del año 2015. El estudio determinó

que la inmersión en agua fría es un poco mejor que la recuperación pasiva en el manejo del dolor muscular, el estudio señala la relación dosis respuesta, pues la temperatura del agua debe estar entre 11 a 15°C y la duración de inmersión debe estar entre 11 a 15 minutos, los protocolos de inmersión con estas características darían mejores resultados (Machado, y otros, 2015). En el estudio de los nadadores de Medellín, el protocolo de inmersión en agua fría cumplía con los parámetros señalados en este meta-análisis, pero los resultados indican que este protocolo no influye significativamente en la reducción de marcadores biológicos CK y LDH.

En los fragmentos anteriores se observó la evidencia científica que apoya el uso de la inmersión en agua fría para la recuperación física de los atletas. Por otro lado, en la actualidad también se encuentran estudios que no le atribuyen ningún efecto benéfico a este método de enfriamiento. Por ejemplo, el estudio *“Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: Is dose important? A randomized controlled trial”*, tuvo resultados contradictorios a los estudios citados. Esta investigación fue un ensayo aleatorizado, cuyo propósito fue comparar el efecto de 4 tipos de protocolos de inmersión en agua fría: corto (1 minuto a 38°C/ 1 minuto 10°C x 3), corto intermitente (1 minuto x 3 a 10°C; 10 minutos a 10°C; 10 minutos a 6°C); o grupo control. Participaron 50 personas, 32 hombres y 18 mujeres. Las variables del estudio fueron las siguientes: rango de movimiento activo, dolor de estiramiento, dolor muscular, fuerza muscular y creatinquinasa. Las variables se midieron antes y 24, 48, 72 y 96 horas después de la intervención. Esta investigación concluyó que los cambios en la duración, temperatura o la frecuencia de inmersión en agua fría post-ejercicio tiene un efecto mínimo sobre los signos y síntomas relacionados con el dolor muscular tardía (Glasgow, Ferris, & Bleakley, 2014).

Otro estudio mostró resultados similares, como sucedió en la investigación *“The effects of cold water immersion after rugby training on muscle power and biochemical markers”*, el objetivo del estudio fue analizar el efecto de la inmersión en agua fría después de un partido de 80 minutos. El estudio era un diseño cruzado con asignación aleatoria de la inmersión en agua fría y recuperación pasiva, participaron 20 hombres. Las variables del estudio fueron la potencia muscular y los marcadores de daño muscular (aspartato aminotransferasa, lactato deshidrogenasa, creatinquinasa, y creatinina), tomados antes del partido, inmediatamente después de la recuperación y 24 horas después. Los investigadores concluyen que el partido de rugby si reduce la función muscular y produce daño muscular, además aseguran que la inmersión en agua fría no tiene ningún efecto significativo en la recuperación muscular después de un partido de 80 minutos (Takeda, y otros, 2014). A diferencia del estudio con los nadadores,

esta investigación solo hizo un seguimiento de 24 horas, pero los signos y síntomas del dolor muscular tardío pueden permanecer en un tiempo mayor a las 24 horas, por esta razón el estudio con los nadadores tuvo un seguimiento de 72 horas.

No obstante, estos no son los únicos estudios de investigación que no encuentran efectos positivos en la recuperación muscular, también existen revisiones sistemáticas y meta-análisis que no ven mejoras significativas en los protocolos de inmersión en agua fría, además señalan que no tiene ningún efecto sobre los marcadores de daño muscular, caso similar a lo que pasó con esta investigación, donde no se encontró resultados importantes en los deportistas. En la revista *Extreme Physiology & Medicina* publicó una revisión sistemática y meta-análisis llamado "*Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta analysis*" el propósito del estudio fue investigar en la literatura sobre la efectividad de los tratamientos con frío para la recuperación de deportistas adolescentes. Dicha investigación sugiere que se necesita más estudios y mejor evidencia para determinar la eficacia de los tratamientos con frío en la población adolescente (Murray & Cardinale, 2015).

Asimismo, La revista *Journal of Sports Research* publicó una revisión llamada "*Post-exercise cold water immersion on sports performance recovery: a review*", realizada en China. El objetivo del estudio fue analizar de forma exhaustiva las investigaciones que estudiaron el efecto de la inmersión en agua fría en la recuperación post-ejercicio. La revisión de la literatura determinó que no hay efectos positivos en el rendimiento y la percepción de la recuperación en atletas que tuvieron la inmersión en agua fría después del ejercicio. Además los efectos de la inmersión en agua fría con relación a la potencia no es clara, también los marcadores de daño muscular no tuvieron una respuesta clara. Esta revisión sugiere más investigaciones al respecto (Chow, Fong, Chung, & Macfarlane, 2015).

De igual modo, en la revista *Plos One* se publicó un meta-análisis llamado "*The effect of post-exercise cryotherapy on recovery characteristics: a systematic review and Meta-analysis*", el objetivo de la investigación fue determinar los efectos de las diferentes tratamientos con frío comparado con los tratamientos no refrigerantes. Los resultados señalan que los métodos de enfriamiento tiene una diferencia significativa en la reducción de las características subjetivas como la percepción del esfuerzo y el dolor muscular de aparición tardía después de las 24 horas comparado con los métodos de control. Parece ser que los métodos de enfriamiento no tienen ningún efecto significativo sobre las características objetivas como marcadores de daño muscular y citoquinas en periodos de

recuperación de 96 horas (Hohenauer, Taeymans, Baeyens, Clarys, & Clijsen, 2015).

Al parecer no hay un consenso internacional sobre la eficacia de la inmersión en agua fría en la reducción de los signos y síntomas del dolor muscular tardío. Debido a que los múltiples estudios tienen características diferentes en tamaño de muestra, tipo de población, protocolo de ejercicio excéntrico y protocolo de inmersión. Por esta razón, en la actualidad se encuentran investigaciones con resultados positivos sobre el tratamiento con frío, pero también se encuentra evidencia científica que asegura que no existe ningún efecto analgésico en el músculo y mucho menos reducciones significativas de los marcadores de daño muscular. Esto muestra la heterogeneidad de la evidencia actual y sus evidentes posturas contradictorias, se recomienda hacer más estudios al respecto para mejorar la calidad de la evidencia científica, y de este modo determinar la eficacia de la inmersión en agua fría.

7.1. Limitaciones

Los diseños metodológicos de las próximas investigaciones, deben conocer las limitaciones que posee este estudio, esto con el objetivo de tener mejor evidencia científica al respecto. Las limitaciones de este estudio son las siguientes:

- Las dificultades económicas impidieron la ejecución de un estudio experimental con tratamiento cruzado.
- No se calcula el tamaño de la muestra para población finita.
- Los grupos no se conformaron aleatoriamente.
- Los tratamientos no se asignaron aleatoriamente.
- El tiempo de práctica deportiva de los nadadores es muy heterogénea.
- Los nadadores no suspendieron las sesiones de entrenamiento, porque los deportistas se encontraban en el periodo competitivo, en dicho periodo, la intensidad de los entrenamientos fue diferente para cada nadador.
- El uso de suplementos nutricionales y medicamentos por parte de los deportistas.

7.2. Conclusiones

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

- Los resultados del estudio indican que la inmersión en agua fría (15 ± 1 °C) no tiene un efecto estadísticamente significativo en la reducción de los marcadores de daño muscular (CK; LDH) en el grupo intervenido.
- El protocolo de ejercicio excéntrico no tuvo ningún efecto significativo sobre la percepción del dolor muscular, el CK y el LDH.
- Solo se analizaron dos marcadores de daño muscular (CK; LDH), a las 24, 48 y 72 horas ninguno de los dos marcadores presentaron diferencias estadísticamente significativas en ambos grupos. Por tal motivo, es necesario incluir otro tipo de marcadores, que permitan comprender la magnitud de la lesión muscular.



Anexos

Datos estadísticos

La tabla 3, muestra los valores iniciales de las variables estudiadas, se utilizó la Prueba U de Mann-Whitney (Versión no paramétrica de la prueba t de student).

VARIABLES	Grupo tratamiento (n=10)	Grupo control (n=5)	Valor -p
Edad (años)	19 (18 – 23)	22 (19 – 25)	0.194
Tiempo práctica (años)	9.5 (8 – 15)	7 (4 – 8)	0.137
Peso (kg)	70.5 (61,4 – 79,8)	67.5 (60.1 -74.5)	0.540
Estatura (m)	1.77 (1.76 – 1.81)	1.73 (1.72- 1.74)	• 0.023
IMC (kg/m ²)	21.9 (20.2 – 23.3)	22.8 (21.2 – 24.3)	0.270
Tejido graso (%)	16.7 (14.4 – 20.4)	16.3 (12.7 – 21)	0.841
CK inicial (U/L)	215 (165 – 231)	198 (190 – 231)	0.951
LDH inicial (U/L)	188 (181 – 203)	174 (169 – 186)	0.244
Escala de Dolor inicial (0-10)	0 (0 – 0)	0 (0 – 0.5)	0,157
Salto Vertical inicial (cm)	42.9 (39.9 – 45.3)	35.3 (33.1 – 40.1)	• 0,023
Potencia inicial (watt)	971 (862 – 1112)	859 (745 – 1007)	0,270

IMC, Índice de masa corporal.

CK, Creatinquinasa.

LDH, Lactato deshidrogenasa.

•, Valores que indican significancia estadística.

En la tabla está el análisis intragrupal de CK y LDH con la Prueba de Wilcoxon.

	VARIABLES	Antes	Después	Valor -p
Grupo tratamiento	CK (U/L)	215 (165 – 231)	240 (195 – 263)	• 0.005
	LDH (U/L)	188 (181 – 203)	191 (171 – 206)	0.575
Grupo control	CK (U/L)	198 (190 – 231)	222 (215 – 256)	• 0.039
	LDH (U/L)	174 (169 – 186)	173 (160 – 191)	0.500

•, Valores que indican significancia estadística.

Análisis intergrupual de las variables, utilizando la Prueba U de Mann-Whitney (Versión no paramétrica de la prueba t de student)

SANGRE CK

Variable	Grupo tratamiento (n = 10)	Grupo control (n = 5)	Valor - p
A LAS 24 HORAS	416 (224 – 931)	234 (208 – 237)	0.220
A LAS 48 HORAS	372 (215 – 781)	194 (159 – 342)	0.178
A LAS 72 HORAS	323 (182 – 770)	182 (148 – 278)	0.244

SANGRE LDH

Variable	Grupo tratamiento (n = 10)	Grupo control (n = 5)	Valor - p
A LAS 24 HORAS	188 (175 – 207)	180 (153 – 187)	0.221
A LAS 48 HORAS	194 (186 – 218)	180 (166 – 190)	0.141
A LAS 72 HORAS	190 (168 – 218)	170 (155 – 178)	0.142

ESCALA DOLOR

Variable	Grupo tratamiento (n = 10)	Grupo control (n = 5)	Valor - p
A LAS 24 HORAS	0 (0 – 0)	0 (0 – 0)	0.157
A LAS 48 HORAS	1 (0 – 1)	0 (0 – 0)	0.157
A LAS 72 HORAS	1 (0 – 2)	0 (0 – 1)	0.290

SALTO

Variable	Grupo tratamiento (n = 10)	Grupo control (n = 5)	Valor - p
A LAS 24 HORAS	42.9 (40.4 – 45.3)	35.3 (35.2 – 39.6)	0.023
A LAS 48 HORAS	42.3 (39.1 – 45.3)	36.3 (36.3 – 39.6)	0.108
A LAS 72 HORAS	42.9 (39.6 – 44.1)	37.4 (34.2 – 38.5)	0.048

POTENCIA

Variable	Grupo tratamiento (n = 10)	Grupo control (n = 5)	Valor - p
A LAS 24 HORAS	971 (891 – 1090)	859 (784 – 1001)	0.327
A LAS 48 HORAS	953 (795 – 1134)	871 (784 – 1001)	0.327
A LAS 72 HORAS	981 (871 – 1121)	846 (761 – 975)	0.221

Comparar variables en el mismo grupo en diferentes horas – Prueba de Wilcoxon

SANGRE CK

Variable	GRUPO TRATAMIENTO (n = 10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
	24 HORAS	48 HORAS	Valor p	24 HORAS	48 HORAS	Valor p
SANGRE CK	416 (224 – 931)	372 (215 – 781)	0.037	234 (208 – 237)	194 (159 – 342)	0.500

Variable	GRUPO TRATAMIENTO (n = 10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
	24 HORAS	72 HORAS	Valor p	24 HORAS	72 HORAS	Valor p
SANGRE CK	416 (224 – 931)	323 (182 – 770)	0.037	234 (208 – 237)	182 (148 – 278)	0.225

Variable	GRUPO TRATAMIENTO (n = 10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
	48 HORAS	72 HORAS	Valor p	48 HORAS	72 HORAS	Valor p
SANGRE CK	372 (215 – 781)	323 (182 – 770)	0.093	194 (159 – 342)	182 (148 – 278)	0.345

SANGRE LDH

Variable	GRUPO TRATAMIENTO (n = 10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
	24 HORAS	48 HORAS	Valor p	24 HORAS	48 HORAS	Valor p
SANGRE LDH	188 (175 – 207)	194 (186 – 218)	0.114	180 (153 – 187)	180 (166 – 190)	0.057

Variable	GRUPO TRATAMIENTO (n = 10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
	24 HORAS	72 HORAS	Valor p	24 HORAS	72 HORAS	Valor p
SANGRE LDH	188 (175 – 207)	190 (168 – 218)	0.721	180 (153 – 187)	170 (155 – 178)	0.500

Variable	GRUPO TRATAMIENTO (n = 10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
	48 HORAS	72 HORAS	Valor p	48 HORAS	72 HORAS	Valor p
SANGRE LDH	194 (186 – 218)	190 (168 – 218)	0.139	180 (166 – 190)	170 (155 – 178)	0.057

DOLOR

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	24 HORAS	48 HORAS	Valor p	24 HORAS	48 HORAS	Valor p
DOLOR	0 (0 – 0)	1 (0 – 1)	0.014	0 (0 – 0)	0 (0 – 0)	1.000

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	24 HORAS	72 HORAS	Valor p	24 HORAS	72 HORAS	Valor p
DOLOR	0 (0 – 0)	1 (0 – 2)	0.016	0 (0 – 0)	0 (0 – 1)	0.317

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	48 HORAS	72 HORAS	Valor p	48 HORAS	72 HORAS	Valor p
DOLOR	1 (0 – 1)	1 (0 – 2)	0.180	0 (0 – 0)	0 (0 – 1)	0.564

SALTO

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	24 HORAS	48 HORAS	Valor p	24 HORAS	48 HORAS	Valor p
SALTO	42.9 (40.4 – 45.3)	42.3 (39.1 – 45.3)	0.499	35.3 (35.2 – 39.6)	36.3 (36.3 – 39.6)	0.218

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	24 HORAS	72 HORAS	Valor p	24 HORAS	72 HORAS	Valor p
SALTO	42.9 (40.4 – 45.3)	42.9 (39.6 – 44.1)	0.838	35.3 (35.2 – 39.6)	37.4 (34.2 – 38.5)	0.786

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	48 HORAS	72 HORAS	Valor p	48 HORAS	72 HORAS	Valor p
SALTO	42.3 (39.1 – 45.3)	42.9 (39.6 – 44.1)	0.759	36.3 (36.3 – 39.6)	37.4 (34.2 – 38.5)	0.339

POTENCIA

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	24 HORAS	48 HORAS	Valor p	24 HORAS	48 HORAS	Valor p
POTENCIA	971 (891 – 1090)	953 (795 – 1134)	0.499	859 (784 – 1001)	871 (784 – 1001)	0.414

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	24 HORAS	72 HORAS	Valor p	24 HORAS	72 HORAS	Valor p
POTENCIA	971 (891 – 1090)	981 (871 – 1121)	0.506	859 (784 – 1001)	846 (761 – 975)	0.500

	GRUPO TRATAMIENTO (n =10)			GRUPO CONTROL (n = 5)		
Variable	48 HORAS	72 HORAS	Valor p	48 HORAS	72 HORAS	Valor p
POTENCIA	953 (795 – 1134)	981 (871 – 1121)	0.574	871 (784 – 1001)	846 (761 – 975)	0.174

Consentimiento informado

Investigador principal: Yeimer Andrés Sanclemente Agualimpia

Asesor: Juan Carlos Giraldo García

Correo electrónico: yasanclementea@unal.edu.co

Título del proyecto de investigación

Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Objetivo general

Determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Justificación

El dolor muscular tardío es un malestar que se presenta de 24 a 72 horas en personas que no están acostumbradas a realizar ejercicio excéntrico (descargar peso de forma controlada, correr colina abajo, saltos, etc.), también se manifiesta en deportistas de nivel recreativo y elite que están desacostumbrados a las cargas excéntricas, esto ocurre generalmente al momento de iniciar una nueva fase del rendimiento deportivo. El dolor muscular tardío está acompañado de una serie de signos y síntomas tales como la disminución del rango de movimiento articular, inflamación, rigidez muscular y pérdida de la fuerza.

En un intento por minimizar los signos y síntoma de este dolor, los deportistas, entrenadores y profesionales de la salud han recurrido a una variedad de terapias físicas como la crioterapia, el masaje, la técnica de ultrasonido y la terapia de corriente eléctrica. Las investigaciones realizadas hasta el momento han mostrado resultados contradictorios sobre los tratamientos para el manejo del dolor muscular tardío, la mayoría con pocos efectos analgésicos (calmante), mínimos efectos sobre la fuerza y la movilidad articular.

La crioterapia (terapia con frío) es utilizada con mucha frecuencia para manejar lesiones como el dolor muscular tardío, este tipo de terapias se usa con la intención de reducir la temperatura del tejido lesionado, así mismo generar una constricción de los vasos sanguíneos locales, para buscar una reducción de las respuestas inflamatorias y generar un bloqueo transitorio de las señales de dolor, dando como resultado un efecto analgésico.

En el campo de la medicina deportiva se ha utilizado mucho la crioterapia en la modalidad de inmersión en agua fría, con el fin de minimizar los signos y síntomas del dolor muscular tardío. Versey, Halson, y Dawson aseguran que varias investigaciones han informado que la inmersión en agua fría puede mejorar la recuperación del rendimiento físico en diferentes modalidades deportivas. Estos autores plantean que la inmersión en agua a 10-15°C durante 5-15 minutos parecer ser el esquema de tratamiento más efectivo para la recuperación del atleta. Por tal motivo este estudio utilizará 15 minutos de inmersión en

agua fría a $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (Versey, Halson, & Dawson, 2013), esto con el objetivo de determinar el efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín.

Los individuos que sean seleccionados para este estudio realizarán las siguientes actividades:

- Leer y firmar el consentimiento informado.
- Diligenciar el cuestionario de actividad física versión corta.
- Disponerse para las medidas antropométricas (peso, talla, etc.)
- Ejecutar el protocolo de ejercicio excéntrico (4 series de 10 repeticiones al 100% de una repetición máxima).
- Participar en las inmersiones en agua fría y termoneutra (tibia).
- Disponerse para la extracción de sangre antes y después de cada intervención.
- Realizar un test funcional (salto vertical).
- Responder a la escala análoga visual del dolor.

Una de las estrategias que se utilizarán para minimizar los riesgos potenciales en los participantes es utilizar instrumentos de medición seguros y calibrados para garantizar la integridad del individuo, además se contará con la presencia de un personal profesional en el campo de la salud. También se brindará un espacio con instalaciones seguras donde los participantes se sientan cómodos. Vale la pena recordar que los individuos que participen en esta investigación contarán con una privacidad de sus datos personales, estos serán manejados con la mayor confidencialidad posible para no mostrar la identidad de los sujetos.

Beneficios que obtienen los participantes del estudio

Los participantes del estudio tendrán la oportunidad de hacer parte de un proceso investigativo, el cual les puede ser muy útil para su vida cotidiana, esta experiencia puede ser una fuente de aprendizaje para los individuos, ya que los diferentes procedimientos que se pretenden realizar en este estudio pueden ser situaciones novedosas para algunos participantes. Además de conocer los efectos que tiene la inmersión en agua fría sobre la recuperación muscular.

¡Su colaboración será de gran ayuda, muchas gracias!

Nombre completo: _____

Firma del participante: _____

Cédula de ciudadanía: _____



Cuestionario internacional de actividad física

Nombre completo: _____

Firma del participante: _____

Cédula de ciudadanía: _____

CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FÍSICA

Estamos interesados en saber acerca de la clase de actividad física que la gente hace como parte de su vida diaria. Las preguntas se referirán acerca del tiempo que usted utilizó siendo físicamente activo(a) en los **últimos 7 días**. Por favor responda cada pregunta aún si usted no se considera una persona activa. Por favor piense en aquellas actividades que usted hace como parte del trabajo, en el jardín y en la casa, para ir de un sitio a otro, y en su tiempo libre de descanso, ejercicio o deporte.

Piense acerca de todas aquellas actividades **vigorosas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Actividades **vigorosas** son las que requieren un esfuerzo físico fuerte y le hacen respirar mucho más fuerte que lo normal. Piense *solamente* en esas actividades que usted hizo por lo menos 10 minutos continuos.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días realizó usted actividades físicas **vigorosas** como levantar objetos pesados, excavar, aeróbicos, o pedalear rápido en bicicleta?

_____ días por semana

Ninguna actividad física vigorosa → **Pase a la pregunta 3**

2. ¿Cuánto tiempo en total usualmente le tomó realizar actividades físicas **vigorosas** en uno de esos días que las realizó?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

Piense acerca de todas aquellas actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado y le hace respirar algo más fuerte que lo normal. Piense *solamente* en esas actividades que usted hizo por lo menos 10 minutos continuos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días hizo usted actividades físicas **moderadas** tal como cargar objetos livianos, pedalear en bicicleta a paso regular, o jugar dobles de tenis? No incluya caminatas.

_____ días por semana

Ninguna actividad física moderada → **Pase a la pregunta 5**

4. Usualmente, ¿Cuánto tiempo dedica usted en uno de esos días haciendo actividades físicas **moderadas**?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

Piense acerca del tiempo que usted dedicó a caminar en los **últimos 7 días**. Esto incluye trabajo en la casa, caminatas para ir de un sitio a otro, o cualquier otra caminata que usted hizo únicamente por recreación, deporte, ejercicio, o placer.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuántos días caminó usted por al menos 10 minutos continuos?

_____ días por semana

No caminó → **Pase a la pregunta 7**

6. Usualmente, ¿Cuánto tiempo gastó usted en uno de esos días **caminando**?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

La última pregunta se refiere al tiempo que usted permanenció **sentado(a)** en la semana en los **últimos 7 días**. Incluya el tiempo sentado(a) en el trabajo, la casa, estudiando, y en su tiempo libre. Esto puede incluir tiempo sentado(a) en un escritorio, visitando amigos(as), leyendo o permanecer sentado(a) o acostado(a) mirando television.



7. Durante los **últimos 7 días**, ¿Cuánto tiempo permanenció **sentado(a)** en un día en la semana?

_____ horas por día

_____ minutos por día

No sabe/No está seguro(a)

Formato de recolección de datos

 POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID – LIGA DE NATACIÓN DE ANTIOQUIA 		Proyecto de investigación			
"Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK, LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín"					
Listado de los deportistas que participaron en la investigación					
Nº	Cédula	Nombre completo	Firma	Teléfono o celular	Correo
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					



POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID – LIGA DE NATACIÓN DE ANTIOQUIA



Proyecto de investigación

“Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK, LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín”

Lunes 23 de noviembre de 2015 – Registro de datos

Nº	Cédula	Nombre completo	Edad	Modalidad	Tiempo de práctica (años)	Sangre 1	Escala de dolor	Masa corporal (kg)	Estatura (cm)	IMC	% grasa	% músculo	Salto vertical (cm)	1 RM (libras)	Protocolo excéntrico	Agua fría	Agua Ambi.	Sangre 2	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			



POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID – LIGA DE NATACIÓN DE ANTIOQUIA



Proyecto de investigación

“Efecto de la inmersión en agua fría sobre los marcadores de daño muscular (CK; LDH) inducidos por el ejercicio excéntrico en nadadores de Medellín”

Martes 24 de noviembre de 2015 – Registro de datos

Nº	Cédula	Nombre completo	Firma del deportista	Sangre 1	Escala de dolor	Seto vertical (cm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Bibliografía

- Badillo, J. J., & Serna, J. R. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*. Barcelona: INDE.
- Bakhtiary, A. H., Safavi-Farokhi, Z., & Aminian-Far, A. (2007). Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 145–148.
- Barbany, J. (2002). *Fisiología del ejercicio físico del entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Becker, A. H., Schewe, H., & Heipertz, W. (2005). *La rehabilitación en el deporte*. España: Paidotribo.
- Bleakley, McDonough, Gardner, Baxter, Hopkins, & Davison. (2012). Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*.
- Bompa, T. O. (2006). *Periodización del Entrenamiento Deportivo: programas para obtener el máximo rendimiento en 35 deportes*. Barcelona: Paidotribo.
- Brancaccio, Lippi, & Maffulli. (2010). Biochemical markers of muscular damage. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 757-767.
- Broatch, Petersen, & Bishop. (2014). Postexercise cold water immersion benefits are not greater than the placebo effect. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2139-47.
- Brown, L. E. (2008). *National Strength And Conditioning*. España: Medica Panamericana.
- Bueno, A. J., & Porqueres, I. M. (2008). *Tendón: valoración y tratamiento en fisioterapia*. España: Paidotribo.
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Tu, J.-H. (2007). Changes in running economy following downhill running. *Journal of Sports Sciences*, 55-63.
- Cheung, K., A.Hume, P., & Maxwell, L. (2003). Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med*, 145-164.
- Chicharro, J. L. (2007). *Fisiología del Ejercicio*. España: Medico Panamericana.
- Connlly, D. A., Sayers, S. P., & McHugh, M. P. (2003). Treatment and Prevention of delayed onset muscle soreness. *Journal of strength and conditioning research*, 197-208.
- Garcés, E. G., & Calvo, J. S. (2003). *Fisioterapia Deportiva: Técnicas Físicas*. España: Editorial GYMNOS.
-

- Gowitzke, B. A., & Milner, M. (2008). *El cuerpo y sus movimientos. Bases científicas*. Barcelona: Paidotribo.
- Júnior, E. A., Brito, C. J., Santos, W. O., Valido, C. N., Mendes, E. L., & Franchini, E. (2014). Influence of cryotherapy on muscle damage markers in jiu-jitsu fighters after competition: a cross-over study. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, Volumen 7.
- Kisner, C., & Colby, L. A. (2005). *Ejercicio Terapéutico*. Barcelona: Paidotribo.
- Lindstedt, S. L., LaStayo, P., & Reich, T. (2001). When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *American Physiological Society*, 256-261.
- Malm, C., Sjödin, T. L., Sjöberg, B., Lenkei, R., Renström, P., Lundberg, I. E., y otros. (2004). Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *The Journal of Physiology*, 983–1000.
- Millet, K. T., S, V., C, V., R, B., RC, B., y otros. (2011). Neuromuscular consequences of an extreme mountain ultra-marathon. *PLoS Ones*, volumen 6.
- Morillo, M. M., Vega, J. P., & Portero, F. S. (1998). *Manual de Medicina Física*. España: Harcourt Brace.
- Plaja, J. (2003). *Analgesia por medios físicos*. España: Mc Graw Hill Interamericana.
- Rodríguez, R. M. (2010). *Fisiología del deporte y el ejercicio; Prácticas de campo y laboratorio*. España: Médica Panamericana.
- Santos, W. O., Brito, C. J., Júnior, E. A., Valido, C. N., Mendes, E. L., Nunes, M. A., y otros. (2012). Cryotherapy post-training reduces muscle damage markers in jiu-jitsu fighters. *Journal of Human Sport & Exercise*.
- Sellwood, K. L., Brukner, P., Williams, D., Nicol, A., & Hinman, R. (2007). Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 392–397.
- Siff, M. C., & Verkhoshansky, Y. (2004). *Superentrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Versey, Halson, & Dawson. (2013). Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Medicine*, 1101-30.
- Wilson, J. D., & J.Buffa, A. (2003). *Física*. México: Pearson Educación.
- Chow, G. C., Fong, S. S., Chung, J. W., & Macfarlane, D. J. (2015). Post-exercise cold water immersion on sports performance recovery: a review. *Journal of Sports Research*, 37-51.
-

- Glasgow, P. D., Ferris, R., & Bleakley, C. M. (2014). Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: Is dose important? A randomised controlled trial. *Physical Therapy in Sport*, 228-233.
- Hohenauer, E., Taeymans, J., Baeyens, J.-P., Clarys, P., & Clijsen, R. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plos One*, 1-22.
- Machado, A. F., Ferreira, P. H., Micheletti, J. K., Almeida, A. C., Lemes, I. R., Vanderlei, F. M., y otros. (2015). Can Water Temperature and Immersion Time Influence the Effect of Cold Water Immersion on Muscle Soreness? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Springer*, 1-13.
- Murray, A., & Cardinale, M. (2015). Cold applications for recovery in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *Extreme Physiology Medicine*, 1-15.
- Roberts, L. A., Nosaka, K., Coombes, J. S., & Peake, J. M. (2014). Cold water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. *American Journal of Physiology*, 998-1008.
- Rossato, M., Bezerra, E. d., Silva, D. d., Santana, T. A., Malezam, W. R., & Carpes, F. (2015). Effects of cryotherapy on muscle damage markers and perception of delayed onset muscle soreness after downhill running: A Pilot study. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 49-52.
- Sánchez-Ureña, B., Barrantes-Brais, K., Ureña-Bonilla, P., Calleja-González, J., & Ostojic, S. (2015). Effect of water immersion on recovery from fatigue: A meta-analysis. *European Journal of Human Movement*, 1-14.
- Takeda, M., Sato, T., Hasegawa, T., Shintaku, H., Kato, H., Yamaguchi, Y., y otros. (2014). The Effects of Cold Water Immersion after Rugby Training on Muscle Power and Biochemical Markers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 616-623.
-